

普通高等院校环境工程类专业“十四五”精品教材

水污染控制工程 实践教程

主 编 ◎ 胡金朝 曹 芮

副主编 ◎ 余 虹 林建华 唐凤君

吴丰祥 刘 勇 魏万玉

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

前 言

PREFACE

工科专业教学过程中，实践技能的培养是非常重要的一项内容，水污染控制工程实验、实训、课程设计是环境工程专业水污染控制工程、水污染控制工程方向实践课程的核心内容。实验是水污染控制工程专业理论和原理在工业领域的具体实施和理论概念的具体化，侧重验证性、研究性实践。实训是利用专业理论和原理针对具体工程案例进行分析、讨论并进行方案优化研究，侧重分析实际工程问题、解决工程问题。课程设计是将专业理论和原理应用于工程设计，注重培养学生理论联系实际的能力以及工程设计计算能力，课程设计对培养创新能力强、适应经济社会发展需要的各种类型的高质量工程技术人才起着重要的作用。

本书旨在根据高校本科人才培养过程中水污染控制工程实验、实训、课程设计的课程时间前后和相互逻辑关系，结合多年本科水污染控制工程实践教学经验，精选部分水污染控制工程实验内容、部分企业（自来水厂、城市生活污水厂、人工湿地、啤酒厂、采矿场、冶炼厂）水处理工艺优化实训、污水处理厂课程设计指导编辑成册，方便学生利用一本书贯通水处理实践练习；结合思政元素的融入，使学生更好地掌握所学水污染控制工程的理论知识和实践技能，了解防治水体污染及中水回用的工艺技术，加深学生对水污染控制工程的基本概念和原理的理解与掌握，学会各类污水处理反应器的操作运行，掌握工艺流程选择和设计计算，学会设计说明书的编写及构筑物 CAD 图纸绘制，提高学生的工程实践能力。本书可作为高等院校环境工程及相关专业教师和学生进行水污染控制工程实验、实训、课程设计时所用的教材或参考书，也可供从事环境保护工作的工程技术人员参考。

本书由西昌学院胡金朝、曹芮担任主编，西昌学院余虹教授以及西昌市供排水总公司林建华，重钢西昌矿业有限公司吴丰祥，攀钢集团西昌钢钒有限公司唐凤君、魏万玉，华润雪花啤酒（四川）责任有限公司广安分公司刘勇担任副主编。其中第一章由胡金朝编写；第二章、第四章由曹芮编写；第三章第一、二节由林建华编写，第三节由吴丰祥编写，第四节由唐凤君、魏万玉编写，第五节由刘勇编写，第六节由曹芮编写；第五章第一节、第二节、第三节由胡金朝编写，第四节、第五节以及附录由曹芮编写。余虹教授负责全书思政元素的融入，胡金朝教授审阅了全书。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2022年12月

目 录

CONTENTS

第一章 绪 论	001
第一节 水污染控制工程基本知识体系	001
第二节 水污染控制工程实践的目的和意义	001
第三节 水污染控制工程实践的特点	002
第二章 水污染控制工程实验	003
第一节 实验目的及任务	003
第二节 实验教学基本要求	003
第三节 实验安全	005
第四节 数据处理与分析	010
第五节 实验项目	013
实验一 废水自由沉淀实验	013
实验二 废水成层沉淀实验	016
实验三 混凝实验	021
实验四 过滤与反冲洗实验	025
实验五 超滤实验	027
实验六 活性炭吸附实验	033
实验七 离子交换实验	036
实验八 活性污泥的生物相形态观察实验	039
实验九 活性污泥性质的测定实验	041
实验十 废水可生物降解性能实验	043
实验十一 污泥比阻测定实验	046

第三章 水污染控制工程案例	052
第一节 自来水净化工程案例	052
第二节 生活污水污染控制工程案例	077
第三节 采矿废水污染控制工程案例	090
第四节 冶炼废水污染控制工程案例	109
第五节 食品加工废水污染控制工程案例	129
第六节 人工湿地案例	140
第四章 水污染控制工程实训	153
第一节 实训目的及任务	153
第二节 实训教学基本要求	153
第三节 实训安全要求	153
第四节 实训项目	154
第五章 水污染控制工程课程设计	162
第一节 污水处理厂工程设计基础	162
第二节 课程设计目的及任务	163
第三节 课程设计基本要求	164
第四节 课程设计步骤及参考资料	164
第五节 课程设计任务	165
附 录	170
附录 A 水污染控制实验报告(样例)	170
附录 B 水污染控制实训报告(样例)	172
附录 C 水污染控制课程设计说明书(样例)	174
附录 D 污水处理工艺设计常用规范	177
参考文献	182

第一章

绪论

第一节 水污染控制工程基本知识体系

水污染控制工程是一门综合性很强的课程，包含环境工程和环境科学之间的很多交叉内容，而且与其他学科在内容上也有很多交叉，自身知识体系十分庞大，涉及应用领域广泛，其实践教学在理论知识的掌握和综合运用中起着至关重要的作用。本书着眼于培养学生的基本操作技能，了解从事环境保护活动必需的工程技术、经济 and 法律法规等方面的知识基础和能力基础，提高创新创业能力和工程实践能力。本书包含水污染控制工程实验、实训、工程案例及课程设计等，基本涵盖了水污染控制工程的各个实践教学环节。

第二节 水污染控制工程实践的目的和意义

批注 [1]: 不修改。调整后标题顺序

一、水污染控制工程实践的目的

(1) 在环境监测实验课程中掌握各项水质指标的检测方法的基础上，结合实际水污染控制的工艺过程，通过水污染控制实验操作，增强学生对水污染控制工程的基本概念和基本原理的理解和掌握，提高学生利用环境检测方法分析和解决实际问题的动手能力。

(2) 通过水污染控制工程实训，学生能熟悉大型水污染控制工程的运行管理方法，提高从事水污染控制工程的综合素质。充分调动学生下厂参加生产实践活动的能动性，使学生把学过的理论知识与工厂实践有机结合起来，巩固和丰富有关环境工程专业理论知识，综合培养和训练学生的公关能力、观察分析和解决生产中实际问题的独立工作能力及生产经营管理的能力，锻炼和培养学生良好的品德和严守纪律的作风。同时让学生

针对实际工艺存在的问题提出优化方案,培养创新创业意识,提高发现问题、分析问题、进而解决实际问题的能力,提高整体教育教学水平与质量。

(3) 水污染控制工程案例,能让学生贯通水污染控制工程理论知识,通过参观自来水处理工艺、生活污水处理工艺、采矿废水处理工艺、冶炼废水处理工艺、食品加工废水处理工艺等几类典型水质净化工艺,学生进一步巩固课堂关于废水处理工艺方面所学的理论知识,提高对污水、废水处理的实际操作运行管理的能力,了解实际水污染控制工程中污水净化工艺的适用性、处理效率、处理注意事项。

(4) 水污染控制工程课程设计,能培养学生运用工程科学的知识,研究和开发水环境领域污染控制的方法,为社会发展和生态保护提供符合要求的水质;使学生掌握常见构筑物的初步设计法律法规、技术规范、计算设计方法,掌握平面图、高程图、主要单体构筑物的初步绘制方法,掌握设计说明书的编写规范。课程能力目标:让学生具有认识、分析和解决环境保护实际问题的技能;具有在水处理工程相关设计、运营维护、管理方面行业的创新和实践技能;使学生具有适应水污染控制工程相关设计、运营维护、管理方面的心理素质以及良好的爱岗敬业精神和职业道德,培养学生的团结协作精神,为学生将来从事的工作打下良好的工程设计基础。

二、水污染控制工程实践的意义

“水污染控制工程”是环境工程专业的重要主干课程之一,具有概念多、教学重点难点多、工艺参数与各类标准规范多、构筑物图纸和机械设备图多、工艺流程和工程计算多等特点。水污染控制工程实践教学不仅是理论教学的巩固和深化,而且是培养学生工程基础知识、创新创业能力、人际团队能力和工程系统能力的重要手段。为我国环境保护领域输送合格的人才,离不开全面、系统、科学的实践教学环节。为更好地使学生理解所学理论知识并综合运用,践行工程教育模式,培养学生工程基础知识、创新创业能力、人际团队能力和工程系统能力,水污染控制工程的实践教学环节就显得尤为重要。

第三节

水污染控制工程实践的特点

尽管实践教学环节系统全面,但在具体内容和能力侧重方面明显不同,例如基础实验内容侧重实际动手能力的培养,综合实验侧重各类污水处理反应器的操控能力提升,创新实验侧重发现问题、分析问题、进而解决问题能力的挖掘,课程设计环节注重初步工程设计概念的形成,生产实习则强调提高从事水污染控制工程的综合素质,毕业设计主要提高工程系统能力。可见,实践教学环节的内容设置既层次分明,又协调一致。

批注 [2]: 删除了“发现分析”,修改为“发现问题、分析问题、”

批注 [3]: 增加“通过”

批注 [4]: 删除了“企业污染物来源、”“的参观实训”

第二章

水污染控制工程实验

第一节 实验目的及任务

从水污染控制工程实际出发，通过实验研究，可以解决以下问题：

- (1) 可以观察、发现有关水环境污染的科学现象，并通过研究和掌握水环境污染物在水体以及污水和废水中的稀释、扩散、迁移、转化、降解、吸附、沉淀等基本规律，为水环境保护和污染防治提供依据。
- (2) 掌握水环境污染防治过程中污染物的去除原理、处理技术及其影响因素，不断发现新的科学现象，开发新的工艺技术，并逐步完善现有的水处理工艺技术及其工程设备。
- (3) 解决水污染治理技术开发中的工程放大问题、自动化控制问题，优化水污染控制工艺技术的设计、控制，以及配套工程设备的设计。

在教学过程中，水污染控制工程实验是环境工程学科教学的重要组成部分，旨在通过实验操作、实验现象的观察和实验结果的分析，使学生进一步理解、掌握水污染控制工程的基本概念和基本原理；学会水处理中常用实验仪器和设备的使用，培养学生实际动手能力和解决实际问题的能力；掌握收集、分析、归纳实验数据的能力和办法，初步掌握水污染控制工程实验的基本方法；使学生学会理论联系实际，培养学生观察问题、综合所学知识分析问题和解决问题的能力。

第二节 实验教学基本要求

科学实验一般可以分为明确实验任务、进行实验设计、实验准备、开展实验并做好观测和记录、整理分析数据、撰写实验报告等几个关键环节。对于不同类型的实验（验

证性、综合性、设计性和探索性实验), 要求学生做好以下几点:

1. 充分做好实验方案设计

实验过程中, 学生需要先基于实验内容和实验要求, 并结合所学理论和知识设计实验方案, 选择实验方法, 确定实验器材, 明确测试项目和分析方法, 拟定实验操作程序, 做好实验分工。

对于综合性、设计性和探索性实验, 学生应结合自己的实验内容和要求, 查阅有关书籍、文献资料, 了解和掌握与本实验研究有关的国内外技术状况、发展动态, 并在此基础上, 根据实验要求和实验室条件, 提出具体的实验方案, 包括实验工艺技术路线、实验条件要求、实验设备及材料、实验步骤、实验进度安排、人员分工等。

实验设计的目的是避免系统误差, 控制、降低实验误差, 无偏估计处理效应, 从而对样本所在总体做出可靠、正确的推断。从实验设计的概念划分, 可分为广义的实验设计和狭义的实验设计。广义的角度是指整个实验课题的拟定, 主要包括课题的名称, 实验目的, 研究依据、内容及预期达到的效果, 实验方案, 实验单位的选取, 重复数的确定, 实验单位的分组, 实验的记录项目和要求, 实验结果的分析方法, 经济效益或社会效益估计, 已具备的条件, 需要购置的仪器设备, 参加研究人员的分工, 实验时间、地点、进度安排和经费预算, 成果鉴定, 学术论文撰写等内容。而狭义的理解是指实验流程的确定, 实验分析方法的选择以及质量保证。通过实验设计和规划做出周密安排, 力求用较少的人力、物力和时间, 最大限度地获得丰富而可靠的资料, 通过分析得出正确的结论。如果设计不合理, 不仅达不到实验的目的, 甚至会导致整个实验的失败。因此, 能否合理地进行实验设计, 关系到科研工作的成败。

实验方案按供试因素的多少可分为单因素实验 (single-factor experiment) 方案、多因素实验 (multiple-factor experiment) 方案。单因素实验是指整个实验中只比较一个实验因素的不同水平的实验。单因素实验方案由该实验因素的所有水平构成, 是最基本、最简单的实验方案。多因素实验是指在同一实验中同时研究两个或两个以上实验因素的实验。在生产过程中影响实验指标的因素通常是很多的, 首先需要从众多的影响因素中挑选出少数几个主要的影响因素, 多因素实验方案由该实验的所有实验因素的水平组合 (即处理) 构成。

正交实验是常见的多因素分析方法。正交表是根据组合理论, 按照一定规律构造的表格, 它在实验设计中有广泛的应用。以正交表为工具安排实验方案和进行结果分析的实验称为正交实验。它适用于多因素、多指标 (试验需要考察的结果)、多因素间存在交互作用 (因素之间联合起作用)、具有随机误差的实验。通过正交实验, 可以分析各因素及其交互作用对实验指标的影响, 按其重要程度找出主次关系, 并确定对实验指标的最优工艺条件。在正交实验中要求每个所考虑的因素都是可控的。在整个实验中每个因素所取值的个数称为该因素的水平。

2. 实验准备

开展实验研究,学生必须提前认真阅读实验教材,清楚地了解所开展实验项目的目的要求、实验原理和实验内容,熟悉实验所需分析测试项目的测试方法,了解实验有关注意事项,准备好实验记录表格。

3. 严格按实验步骤操作

水污染控制工程的实验一般是由几个人合作的,实验时必须做好组织工作,既有分工,又有合作,确保安全和质量。实验前应仔细检查实验设备、仪器仪表是否完好和正常。明确是否对特殊设备、仪器及其操作技术具有充分了解,是否对实验安全进行了充分的认识并排除了安全隐患;实验时要严格按照操作规程操作,仔细观察实验现象,认真测试实验数据,并翔实填写实验记录。实验结束后,要对实验室和实验设备进行清扫或清理,把仪器仪表恢复原状,填写相关使用记录。

4. 数据整理与分析

实验数据分析主要包括实验误差分析、有效数据的取舍、实验数据整理等,并依此判断实验结果的好坏,找出不足之处,提出完善实验的措施。实验结束后,应尽快对实验数据进行统计处理,获取有效的实验结果,并进行科学、合理的分析,得出正确、可信的结论。

5. 撰写实验报告

实验报告是对实验的全面总结,必须写得简单明白,数据完整,交代清楚,结论明确,有讨论有分析,得出的公式或图表要指明实验条件;实验报告应包含实验名称、实验目的、实验步骤、实验安全风险及风险控制预案、实验数据和分析讨论等。在分析讨论中,要根据实验结果做出估计,分析误差大小及原因,要运用所学知识对实验现象进行解释,对异常现象进行讨论,并提出改进思路和建议。

第三节 实验安全

实验室是高等学校教学和研究的重要基地,安全必须放在首位,只有安全方能使实验室诸项工作得以顺利进行。所以学生进入实验室的第一堂课,应为“安全教育课”。实验室的安全是确保师生员工人身安全和避免学校财产损失的基础,它不仅包括防火、防爆、防毒、防盗、防溢水,安全地使用各种仪器,还包括环境污染的避免与消除工作,更重要的是出现一些事故怎样处理和自我保护。

水污染控制工程实验室的安全工作极为重要,不安全的操作不仅会出现事故,也会打乱正常的实验进程。因此,实验室的所有工作人员需要知道并坚守良好的实验室操作规则,尤其应建立定期清洗并检查装置的操作规程。教师必须对进入实验室做实验的学生

进行安全和环境防护的教育，使学生了解实验室的规章制度，了解各种药品、试剂的特性，掌握取用方法，并做出示范，提出具体要求，减少由于操作不当而产生危险的概率。

一、准入要求

(1) 进入实验室必须穿实验服，相关检测有特殊要求的，还需要佩戴防毒面罩、隔热手套或防护手套等。

- (2) 禁止穿凉鞋或拖鞋进入实验室。
- (3) 禁止佩戴隐形眼镜。
- (4) 禁止在实验室玩手机。
- (5) 禁止在实验室吃东西、吸烟。

二、卫生要求

- (1) 药品及配置的化学试剂必须有明显的标志，用完后应及时放回原位。
- (2) 仪器操作前，先要明白仪器的操作要求（实验任课老师讲解）。
- (3) 天平室卫生：用完天平要打扫干净，天平上不能有药品出现。
- (4) 做完实验，要打扫实验室卫生，垃圾要倒掉，台面整理干净。

三、安全要求

(一) 防火防爆

火灾对实验室构成的威胁最为严重，最为直接，一场严重的火灾，将对人身、财产和资料造成毁灭性的打击。引起火灾要有三个因素：助燃剂、可燃物和引火源。

1. 电器设备引起的火灾

这类情况包括保险丝失灵、仪器控制器失灵，电器继续加热达到周围物品的燃点而失火，最重要的是由于操作人员和管理人员的疏忽。错误使用保险丝，容易导致设备烧毁，甚至引起火灾。使用电吹风吹干实验用品后应及时关闭，否则容易将实验台烤糊、烤焦。烘箱中放入纸张、木制实验用品时亦容易出现燃烧等问题。不得把含有大量易燃易爆溶剂的物品送入烘箱和高温炉加热。严禁乱接电源，要经常检修和维护线路、防火设备以及通风等。实验结束，要及时切断电源、气源、火源等，消除火种，关闭门窗。

为了更好地应对实验室突发情况，进入实验室前，要清楚电源总开关、煤气总开关、水源总开关的位置，有异常情况时要关闭相对应的总开关；要了解冲眼水龙头、紧急喷淋水龙头、急救箱的位置及使用方法，以便出现异常情况时能做好相应的自我救护。

2. 易燃易爆物品引起的火灾

煤气、酒精、汽油等燃料，氢气、氧气等气体，乙醚、二甲苯、丙酮、三硝基苯磺

批注 [5]: 通风不仅仅是设备。这个说法可以不用修改。

酸、松节油、苦味酸等液体，油脂、松香、硫黄、无机磷等固体，这些易燃易爆物品在一定条件下均能引起燃烧和爆炸，必须妥善安置，正确使用。特别强调的是，漫不经心的举动就有可能造成无可挽回的后果。使用易燃易爆物品前必须充分认识其化学特性和存在的危险，规范实验操作，避免出现危险。

3. 压缩气体引起的火灾

在环境监测实验中测定污水中的铜、锌、铅、镉等重金属元素时要用原子吸收分光光度计，测定水中苯系物时要用气相色谱仪。使用原子吸收分光光度计和气相色谱仪分别要用乙炔、笑气和氢气，这些气体都是压缩气体，如操作不慎，有可能造成爆炸事故，因此，气瓶的安全管理也显得非常重要。气瓶在使用过程中，要有专人负责；要有防止倾倒的措施，要避免碰撞、烘烤和暴晒；易燃和助燃气瓶要保持距离，分开存放；受射线辐照易发生化学反应介质的气瓶应远离放射源或采取屏蔽措施；易燃易爆或有毒介质的气瓶，要安放在远离实验室的专用屋内。开启高压气瓶时应站在气瓶出口的侧面，动作要慢，以减少气流摩擦，防止产生静电。气体应在储存期限内使用，气瓶应定期做技术检验和耐压实验。

4. 生活用品引起的火灾

禁止将生活用品带入实验室。比如在实验室违规给手机充电引发火灾；将饮用水带入实验室因饮用水倾倒、泄露导致火灾等。

灭火方法：灭火的一切手段基本上围绕破坏形成燃烧的三个条件中任何一个（助燃剂、可燃物和引火源）来进行，基本方法：① 隔离法；② 冷却法；③ 窒息法；④ 化学中断法。实验室中常用的灭火方法：① 用水灭火；② 砂土灭火；③ 灭火器。小火有时用湿手巾覆盖上，就可以使火焰窒息。如果实验出现火情，要立即停止加热，移开可燃物，切断电源，停止通风。大火用灭火器，同时报警，如果灭火器扑灭不了，赶快撤离，并将实验门关上，以免火势蔓延。火灾逃生的常识：在火灾中，烈火不是最危险的敌人，浓烟和恐慌才是导致死亡的主要原因，出现火灾时，一定要冷静，做出正确的判断。

（1）进入实验室，应事先了解和熟悉建筑物的太平门和安全出口，做到心里有数，以防万一。

（2）发生浓烟时应迅速离开，当浓烟已窜入室内时，要沿地面匍匐前进。地面层新鲜空气较多，不易中毒而窒息，利于逃生。逃至门口，千万不要站立开门，避免被大量浓烟熏倒。

（3）逃到室外走廊，要尽量做到随手关门，如有防火门随即关上，这样可阻挡火势随人运动迅速蔓延，增加逃生的有效时间。

（4）外逃时千万不要乘坐电梯，因为火灾发生后，电梯可能停电或失控，同时，由于“烟筒效应”，电梯常常成为浓烟的流通道。

（5）如果下层楼梯冒出浓烟，不要硬行下逃，因为火源可能就在下层，向上逃离反而更可靠，可以到阳台、天台，找安全的地方，等候救援。

（6）若被困到室内，应迅速打开水龙头，将所有可盛水的容器装满水，并把毛巾、

被单、毛毯打湿，以便随时使用。用湿手巾捂嘴，3层湿毛巾可以遮住30%的浓烟不被吸入，12层湿毛巾可以遮住90%浓烟。但湿毛巾也容易引起人的窒息，应注意水分不能超过毛巾重量的3倍。

（二）防中毒

毒物进入人体的途径有三类，即皮肤、消化道和呼吸道。实验室防毒主要采取加强个人防护。在实验室应该严格遵守以下规则：

（1）使用化学药品前，必须充分认识药品的毒性，充分掌握药品使用规范及出现中毒现象的表现及解毒方法，备好解毒药品及设备。

（2）绝对不允许口尝鉴定试剂和未知物。

（3）不允许直接用鼻子嗅气味，应以手扇出少量气体。

（4）一切有可能产生毒性蒸气的工作必须在通风橱中进行，并有良好的排风设备。

（5）从事有毒工作必须穿工作服，佩戴防护面具，处理完毕后方能离开。

（6）如果到一个房间，嗅到有煤气味，应立即开窗通风，千万不要打开任何电源，以免电火花引起煤气爆炸燃烧。

（7）如果发现有毒现象，立即停止工作，送医院急救。

（三）防触电

（1）使用新的电气仪器，要先看说明书，**弄懂**它的使用方法和注意事项才能使用。

（2）使用搁置的电器应预先检查，发现有损坏之处及时修理。

（3）湿手不可接触电体，不能在潮湿处用电器。

（4）要按电气仪器安全用量来选择适当的保险丝和盒匣开关。

（5）电器装置不能裸露，漏电部分应及时修理好。

（6）使用后的电器设备，闭上开关，拔掉电源。

（7）各种电器应绝缘良好，并接地线。

（8）各种电器材料按规定范围使用，发生火灾时，应先切断电源开关，再灭火。

批注 [6]: 不建议修改。

批注 [7]: 这个地方电器和电气，傻傻分不开。我们通常用电器。还请编辑定夺。

（四）防烧烫伤

（1）在实验室稀释浓硫酸时，不能将水往浓硫酸里倒，而应将浓硫酸缓缓倒入水中，不断搅拌均匀。

（2）加热液体的试管口，不能面向自己或别人，以免烫伤。

（3）浓硫酸一旦落在身上，先用干毛巾尽量擦掉酸液，再用大量水冲洗，以弱碱2%碳酸钠或肥皂液中和洗涤；其他酸直接用大量水冲洗后再用弱碱中和。

（4）碱液落在皮肤上，用大量水洗净，用4.5%醋酸或1.5%左右的盐酸中和洗涤。

（5）在化学实验中，尽量不要戴隐形眼镜，如眼睛被溅上药品，立即用冲眼水龙头冲洗。

- (6) 橡皮或塑料手套应经常检查有无破损，特别是接触酸时。
- (7) 拆装玻璃管时，注意防止被割伤，戴线手套，或用手巾垫着操作。

(五) 微生物安全

对污水处理实验室来说，生物处理过程十分常见。尽管多数情况下，污水处理反应器中的微生物较为普通，但也存在一定的微生物安全性问题。操作时微生物对实验人员或环境产生的危害并不大，遵守标准的微生物学操作规程即可。

(六) 防溢水和防盗

防溢水：使用完水龙头一定要记得关闭。特别是停水时若忘记关水龙头，来水后溢出的水可能造成严重的实验室安全问题，如损坏设备、破坏实验材料，严重时有可能与药品发生反应从而引发火灾或中毒事件。

防盗就是离开实验室时一定要关好门窗，短暂离开也要关好门。要做好实验室进出登记，离开实验室时应逐一检查确定水、电、煤气、窗户已关好。

(七) 环境保护

实验室的环保就是对废渣、废液、废气的处理。首先在实验设计中应尽量选择无公害、低毒物品做实验，减少实验残液、残渣的产生，从而减少污染和保护环境。规范化管理实验室内废液、废渣，不得随意倾倒。酸碱、无机溶液、有机溶液、固体废弃物不能混放，废弃物必须注明危险特性。实验结束后的废弃试剂要经过化学处理才能排放掉，对于不能处理的废弃化学药品要妥善保管。例如，实验剩余的废酸、废碱，可先进行酸碱中和后再排放，消除废弃化学试剂中过酸、过碱对管道、水质、土壤造成的腐蚀和污染；剩余的有剧毒试剂如氯化汞、四氯汞钾溶液或有机溶剂如乙醇、氯仿等，应分类收集、集中回收，交由有资质的处理机构进行处理处置；废渣要采用掩埋法，有毒的废渣必须先进行化学处理后深埋在远离居民区的指定地点，以免毒物溶于地下水而混入饮用水中。列入《国家危险废物名录》的危险废物或根据国家规定的危险废物鉴别方法认定的具有危险特性的新化学废物应严格按照有关要求进行处理。

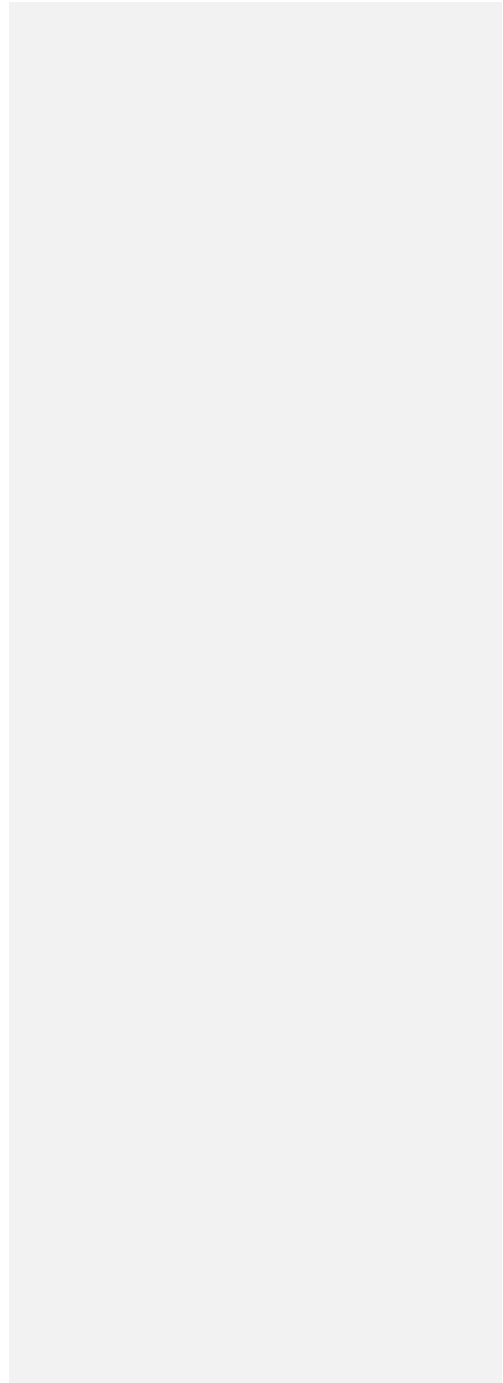
(八) 其他危害

遵守仪器安全使用操作规程，爱护实验室仪器和设备，注意人身安全。例如，使用离心机时，如果离心管不平衡，就可能造成事故。

在具体实验过程中，师生均须牢牢地树立“安全第一，预防为主”，“安全为了实验，实验为了安全”的思想，要警钟长鸣。让我们发扬高度负责的精神，从每一细小的事实做起，加强实验室的安全管理。

0010

▶ 水污染控制工程实践教程



第四节 数据处理与分析

水环境是一个开放的系统，具有成分复杂、随机多变，时间、空间尺度和数量级别分布广泛等特点。开展水污染防治研究或水污染控制工程实验需要进行一系列测定，以获取大量的第一手数据，进行科学研究、理论验证和工程技术开发。实践表明，所有实验研究都存在误差，同一项目的多次重复测量结果都会有差异，即实验值与真实值之间存在差异。导致这种差异的原因有很多，诸如实验环境、实验条件、实验设备、实验技术、实验方法、实验人员及其技术水平等。因此，实验过程中绝不能认为取得了实验数据就算完成任务，还需要对测试对象进行分析研究，估计测试结果的可靠程度，并对取得的数据给予合理的解释；对所得数据加以处理，并用一定的方式表示出各数据之间的相互关系，形成研究成果。

一、误差的基本概念

实验常需要做一些定量分析的测定，同一项目的多次重复测量，结果可能各不相同，即实验值与真实值之间存在差异，这就是实验误差。引起实验误差的因素较多，通常随着研究人员对研究课题认识的提高、仪器设备的不断完善，实验中的误差会逐渐减小。

实验中，一方面必须对所测对象进行分析研究，善于判断分析结果的准确性，查出产生误差的原因，并对取得的数据给予合理的解释，以及进一步研究减小误差的方法，不断提高分析结果的准确程度。另一方面还必须对所得的数据加以归纳，用一定的方式表示出各数据之间的相互关系。前者即误差分析，后者为数据处理。

对实验结果进行误差分析与数据处理的目的在于：可以根据科学实验的目的，合理地选择实验装置、仪器条件和方法；能正确处理数据，以便在一定条件下得到真实值的最佳结果；合理选择实验结果的误差，避免由于误差而选取不当，造成人力、物力的浪费；总结测定的结果，得出正确的实验结论，并通过必要的整理归纳，绘成实验曲线或得出经验公式，为验证理论分析提供条件。

二、准确度和误差

准确度是指测定值与真实值之间的偏离程度。误差通常用于表示分析结果的准确度，包括绝对误差和相对误差。绝对误差指测定值与真实值之差；相对误差指绝对误差与真实值之比。即：

$$\text{绝对误差} = \text{测定值} - \text{真实值}$$

$$\text{相对误差} = \text{绝对误差} / \text{真实值}$$

绝对误差用于反映测定值偏离真实值的大小，其单位与测定值相同。由于不易测得真实值，实际应用中常用测定值与平均值之差表示绝对误差，与被测物量的大小无关。相对误差用于不同观测结果的可靠性的对比，常用百分数表示，与被测物量的大小有关。若被测物的量越大，则相对误差越小。一般用相对误差来反映测定值与真实值之间的偏离程度（即准确度）比用绝对误差更为合理。

三、精密度和偏差

精密度是指经过几次平行测定，得到几个测定结果，结果之间相互接近的程度。通常被测量的真实值很难准确知道，于是用多次重复测量结果的平均值代替真实值。这样单次测定的结果与平均值之间的偏离程度称为偏差。偏差与误差一样，也有绝对偏差和相对偏差之分。

绝对偏差=单位测定值-平均值

相对偏差=绝对偏差/平均值

从相对偏差的大小可以反映出测量结果再现性的好坏，即测量的精密度。相对偏差小，即可视为再现性好，即精密度高。

四、产生误差的原因

产生误差的原因很多。根据误差的性质及发生的原因，一般可分为系统误差、偶然误差、过失误差等。

由于测定过程中某些经常性的原因所造成的误差称为系统误差，它对分析结果的影响比较恒定。在做多次重复测量时，由于这些固定因素的影响，使结果总是偏高或偏低。这些固定因素主要来源于以下几个方面：①由于分析测定的方法不够完善而引入的误差；②所用仪器本身的缺陷造成的误差，如量具刻度不准、砝码未校正等；③试剂不纯引起的误差，如试剂不纯或器皿质量不高，引入了微量的待测组分或对测定有干扰的杂质而造成的误差；④个人生理特点引起的误差，如人对颜色变化不敏感造成的误差。

系统误差可以用改善实验方法、在实验前校正仪器、检查试剂纯度、提纯药品或在实验中同时进行空白实验等措施来减小。有时也可以在找出误差原因后，算出误差的大小而加以修正。

偶然误差在多次重复测定中，即使操作者技术再高、工作再细致，每次测定的数据也不可能完全一致。这种误差产生的原因常常难以察觉，例如可能是由于温度、气压的偶然波动而引起，也可能是由于个人在读数时一时辨别差异使读数不一致而引起。这种误差是由偶然因素引起的，在实验操作中不能完全避免。

偶然误差的大小可由精密度表现出来。测定结果的精密度越高，偶然误差越小；反之，精密度越差，测定的偶然误差越大。通常可采用“多次测定，取平均值”的方法来减小偶然误差。

除了上述两类误差外,还有由于工作粗枝大叶、不遵守操作规程等原因而造成测量的数据有很大的误差,即过失误差。这些属于可以避免的过失,但会给分析结果带来严重影响,必须注意避免。因此,必须严格遵守操作规程,一丝不苟、耐心细致地进行实验,在学习过程中养成良好的实验习惯。如果确知是由于过失差错而引起的误差,则在计算平均值时应去除该次测量的数据。

五、实验数据的处理

实验数据处理时,一般都需要在校正系统误差和剔除错误的测定结果后,计算出结果可能达到的准确范围,即应算出分析结果中包含的偶然误差。首先要把数据加以整理,剔除由于明显、充分的原因而与其他测定结果相差甚远的数据,对于那些精密度似乎不甚高的可疑数据,则应按照处理规则决定取舍。然后计算出剩下数据的平均值,以及各数据对平均值的偏差和平均偏差。再从平均偏差算出平均值与真实数值的差距,以求出真实数值可能存在的范围。实验过程中所做的各种测试工作,由于受到仪器、实验方法、环境、人为因素等方面的限制,不可能测得真实值。如果对同一考察项目进行无限多次的测试,然后根据误差分布定律中正负误差出现概率相等的原则,可以求出测试值的平均值,在无系统误差的情况下此值接近于真实值。但通常实验的次数是有限的,用有限次数求得平均值是真实值的近似值。

常用的平均值有:算术平均值、均方根平均值、加权平均值、中位值、几何平均值。计算平均值方法的选择,主要取决于一组观测值的分布类型。

六、实验数据的表示方法

在对实验数据进行误差分析整理去除错误数据后,还可通过数据处理,将实验所提供的数据归纳整理,用图形、表格或经验公式加以表示,以找出影响研究事物的各因素之间互相影响的规律,为得到正确的结论提供可靠的信息。

常用的实验数据表示方法有列表表示法、图形表示法和方程表示法三种,表示方法的选择主要依据经验。

列表表示法是将一组实验数据中的自变量、因变量的各个数值依一定的形式和顺序一一对应列出来,借以反映各变量之间的关系。完整的表格应包括表的序号,表题,表内项目的名称和单位、说明以及数据来源等。

实验测得的数据,其自变量和因变量的变化有时是不规则的,使用起来不方便。此时可以通过数据的分度,使表中所列数据有规则地排列,即当自变量做等间距顺序变化时,因变量也随着顺序变化,这样的表格查阅起来较方便。数据分度的方法有多种,较为简单的方法是先用原始数据画图,作出一条光滑曲线,然后在曲线上一一读出所需数据,并列列表。

图形表示法的优点在于形式简明直观,便于比较,易显出数据中的最高点或最低点、

转折点、周期性以及其他奇异性等。当图形作得足够准确时，可以不必知道变量间的数学关系，对变量进行运算后就得到需要的结果。

图形表示法主要用于两种场合：① 已知变量间的依赖关系图形，通过实验，将取得数据作图，然后求出响应的一些参数；② 两个变量之间的关系不清，将实验数据点绘于坐标纸上，用于分析变量间的关系和规律。

实验数据用列表或图形表示后，使用时虽然直观简便，但不便于理论分析研究，故常用数值表达式来反映自变量与因变量的关系，这种方法称为方程表示法。

方程表示法通常包括以下两个步骤：

第一步：选择经验公式。表示一组实验数据的经验公式应该形式简单，式中系数不应太多。通常先将实验数据在坐标纸上描点，再根据经验和几何知识推测经验公式的形式。若经验证明此形式不够理想时，则应立新式，再进行实验，直到得到满意的结果为止。表达式中容易直接用实验验证的是直线方程，因此，应尽量使所得函数形式呈直线式，若不是直线式，可以通过变量变换，使所得图形改为直线。

第二步：确定经验公式的系数。确定经验公式系数的方法有多种，包括直线图解法和回归分析中的一元线性回归、一元非线性回归，以及回归线的相关系数与精度等，这些方法都可以依据所掌握的数学知识获得。

第五节 实验项目

实验一 废水自由沉淀实验

批注 [8]: 补充装置图。

一、实验目的

- (1) 观察沉淀过程，加深对自由沉淀特点、基本概念及沉淀规律的理解。
- (2) 求某一废水的沉淀曲线（即沉淀时间 t 与沉淀效率 E 的相关曲线），颗粒沉速 v 与沉淀效率 E 的相关曲线，掌握某一种废水的沉淀特性，为设计沉淀池提供基本参数。

二、实验原理

在含有分散性颗粒的废水静置沉淀过程中，设沉淀实验筒内有效水深为 H ，通过不同的沉淀时间 t 可求得不同的颗粒沉淀速度 v ，即 $v=H/t$ 。因而从指定的沉淀时间 t_0 可得颗粒的沉淀速度 v ，对于沉速等于或大于 v_0 的颗粒，在当时间为 t 时可全部除去，而对于沉速 $v<v_0$ 的颗粒只有一部分去除，而且是按 v/v_0 的比例去除的。沉淀开始时，可以认为悬浮物在水中的分布是均匀的，随着沉淀时间的增加，悬浮物在实验筒内的分布变为不均匀了，严格地说，经过沉淀时间 t 后，应将实验筒内有效水深 H 的一部分水样取出，测定其悬浮物含量，来计算出 t 时间内的沉淀效率。但这样的工作量很大，而且每个实验

筒只能求一个沉淀时间内的沉淀效率。为了克服上述弊病，又考虑到筒内悬浮浓度沿水深度的变化，提出如下实验方法：将取样口装置在 $H/2$ 处，近似地用该处水样的悬浮物浓度代表整个有效水深内悬浮物平均浓度。我们认为这样做在工程上所导致的误差是允许的，而且实验及测定工作量可以大为简化，在一个实验筒内就可多次取样，完成沉淀曲线的测定。

三、实验设备与试剂

(1) 装置与设备：废水自由沉淀装置（见图 2-1）、浊度计、200 mL 烧杯、计时器、游标卡尺。

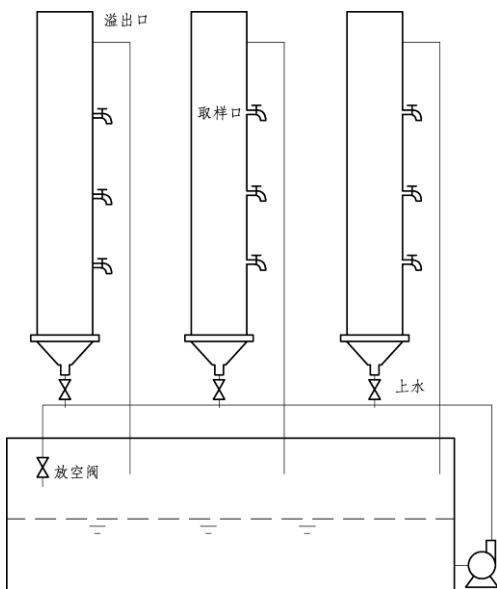


图 2-1 废水自由沉淀装置

(2) 原料：实验废水（一定浊度的废水）。

四、实验方法与操作步骤

(1) 了解管道连接情况，检查是否符合实验要求（检查水泵出水口的两个阀门，关闭到沉淀筒方向去的阀门，开启内部回流的阀门）。

(2) 关闭出水阀门，启动水泵，水力搅拌 5 min（回流水出口有强烈水射流出，起搅拌作用），使水槽内水质均匀。

批注 [9]: 这个不改的哦

(3) 进水操作:

① 关闭三个沉淀筒各自的进水阀门(沉淀筒底部)。

② 打开水泵到沉淀筒方向去的阀门(回流水不关闭),然后打开第一个沉淀筒的进水阀门,让水平稳地从沉淀筒底部进入筒中,至上端溢流。随机关闭沉淀筒进水阀门,开始计时。

③ 开启第二根沉淀筒的进水阀门,按以上第②项步骤操作。

注:以上②③步骤每一小组各做一步即可。

④ 关闭水泵电源插头,让水泵停止工作。

(4) 打开沉淀筒中间阀门,放空约 50 mL 水后开始取原水样。取水样 100 mL 两次,做平行试验,此时 $t=0$ 。

(5) 关闭进水阀,开始计沉淀时间,接着关闭水泵。

(6) 刚才所取 100 mL 的两个水样分别摇匀,进行浊度测试。

(7) 按实验表上给出的时间,依次取水样,每次取水样前须先读取工作水深,然后打开放水阀,放空 50 mL 左右水样后开始取水样,每次取 100 mL 两个水样,测量浊度。

(8) 按照实验表上各个项目,分别计算和填写结果。

批注 [10]: 强调是必须

五、实验记录与分析

1. 实验记录

(1) 记录沉淀过程的实验现象。

(2) 记录数据(见表 2-1)。

表 2-1 沉淀过程实验数据记录

静置沉淀时间 t/min	取水样体积 v/mL	放水体积 v'/mL	水样浊度 (NTU)	水样平均浊度 (NTU)	沉淀效率 $[E\%=(C_0-C)/C_0\times 100]$	工作水深 H/mm	颗粒沉速 ($v_0=H/t_i$)
0							
10							
20							
40							
60							
90							

2. 实验分析

- (1) 画出沉淀曲线： $E-t$ 及 $v-E$ 。
- (2) 根据沉淀曲线，总结废水沉淀规律。

六、注意事项

- (1) 水样取出后搅拌时间要足够，否则悬浮物浓度不均匀，会出现较大误差。
- (2) 沉淀筒进水时，一定要密切注意水位的上升速度，当水位将要达到溢流口时，要适当关小进水阀，以防止水位上升速度过快而溢出沉淀筒。

实验二 废水成层沉淀实验

一、实验目的

在污水生物处理的二沉池、污泥处理的重力浓缩池和污水混凝沉淀法处理的沉淀池中，悬浮固体浓度比较高。沉淀过程中，固体颗粒彼此相互干扰，沉速大的颗粒无法超越沉速小的颗粒快速下沉，所有的颗粒聚合成一个整体，各自保持相对不变的位置，共同下沉，并出现一个清晰的泥-水界面，此界面逐渐向下移动。这个泥-水界面下沉速度就是颗粒的下沉速度，这种类型的沉淀，称为成层沉淀（又称拥挤沉淀或区域沉淀）。

成层沉淀类型的沉淀池，除了要满足水力表面负荷率外，还要满足污泥固体表面负荷率（即污泥固体通量），才能取得理想的固-液分离和污泥浓缩效果。因此，污泥固体表面负荷率是二沉池、污泥浓缩池设计和运行的重要参数。由于成层沉淀过程受污水中悬浮固体性质、浓度、沉淀时间和水力条件等因素的影响，因此，常需要通过实验方法求得设计参数，以指导生产运行。

本实验的目的是：

- (1) 加深对成层沉淀的基本概念、特点以及沉淀规律的理解。
- (2) 掌握活性污泥沉淀特性曲线的测定方法。
- (3) 掌握固体通量曲线的分析方法、绘制方法。

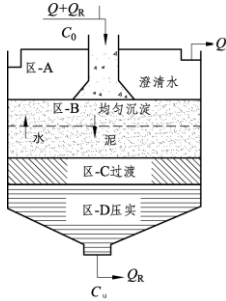
二、实验原理

澄清浓缩池在连续稳定运行中，池内可分为四区，如图 2-2 所示。池内污泥浓度沿着池高的分布状况如图 2-3 所示。

本实验采用的是多次静态沉降实验法，又称污泥固体通量分析法（简称固体通量分析法），是迪克（Dick）于 1969 年采用静态浓缩实验的方法，分析了连续式重力浓缩池的工况后，提出的考虑污泥浓缩功能时二沉池和污泥浓缩池表面积的一种计算方法。所谓固体通量，即单位时间内通过单位面积的固体质量 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ 。当二沉池和连续流

批注 [11]: 需添加实验室设备图片或原理图。

污泥重力浓缩池运行正常时，池中固体量处于动态平衡状态。单位时间内进入池的固体质量等于排出池的固体质量 ($C_e=0$)，如图 2-4 所示。



C_0 —原污泥浓度； C_u —污泥浓度。

图 2-2 稳定运行沉淀池内状况

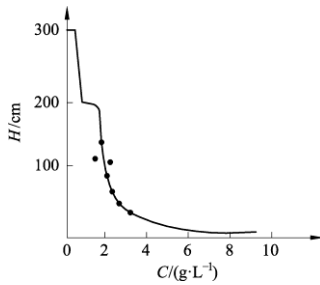


图 2-3 池内污泥沿池高分布

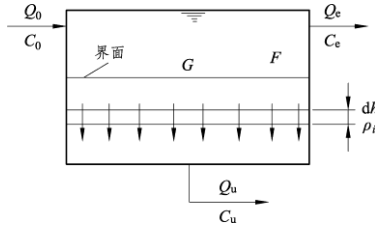


图 2-4 二沉池混合液沉降示意图

污泥固体颗粒的沉降是由两个因素引起的：

- 一是自身重力作用引起的沉降，形成静沉固体通量 G_g 。
- 二是由于污泥回流和排泥产生的底流引起的污泥颗粒沉降 G_u 。

上述污泥沉降过程的固体通量可以用下式表示：

$$G_T = G_g + G_u = u_i \cdot C_i + u \cdot C_i \quad (2-1)$$

- 式中 G_T —总的固体通量， $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；
 G_g —污泥本身的重力产生的固体通量， $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；
 G_u —排泥速率为 u 时造成的底流产生的固体通量， $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；
 u_i —污泥浓度为 C 时污泥重力沉降速率， m/h ；
 C_i —污泥浓度， g/L ；
 u —相应于某一底流浓度时的底流速率， m/h 。

式 (2-1) 中的第二项 ($u \cdot C_i$) 与二次沉淀池或浓缩池的操作运行方式、污泥性质和要求浓缩的程度有关。设计时， u 采用经验值。对于活性污泥法， u 值为 $7.1 \times 10^{-5} \sim$

批注 [12]: ρ : 密度。

$1.4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ 。式(2-1)中的第一项($u_i \cdot C_i$)与污泥沉淀性质有关,可以通过沉降实验确定。

图2-4中线2为 G_u-C_i 曲线;线3为 G_g-C_i 曲线,两个曲线纵坐标叠加后为曲线1,即 G_T-C_i 曲线。在总固体通量曲线 G_T 上有个最低点A,与这一点相对应的固体通量值 G_L 称为极限固体负荷率。当二次沉淀池或浓缩池的入流污泥负荷 $G_a > G_L$ 时,说明池面积设计过小,或当 $G_a \gg G_L$ 时, ($G_a - G_L$)这部分污泥是泥水断面不断上升,直到污泥被出流带走。对于二次沉淀池, G_a 可用式(2-2)表示:

$$G_a = \frac{(Q + Q_u) \cdot \rho_{MLSS}}{A} \quad (2-2)$$

式中 ρ_{MLSS} ——曝气池混合液浓度, g/L;

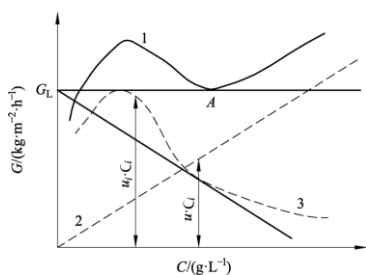
Q ——污水流量, m^3/h ;

Q_u ——底流流量, m^3/h ;

A ——二次沉淀池面积, m^2 。

G_L 值可以通过沉淀实验求得。设计时,常采用经验值,对于活性污泥混合液, G_L 在 $3.0 \sim 6.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 之间取值。

进行沉淀实验时,取同一种污泥的不同固体浓度混合液,分别在沉淀柱内进行沉淀实验,每根柱子可得出一条泥-水界面沉淀过程线(见图2-6),从中可以求出泥水界面下沉速率 u_i 与相应的污泥浓度 C_i 的关系曲线3(见图2-5)。活性污泥混合液在沉淀柱里的沉淀过程可以分为3个阶段,如图2-6所示。



1— $G_T = G_u + G_g$; 2— $G_u = u C_i$; 3— $G_g = u_i C_i$ 。

图 2-5 污泥固体通量曲线

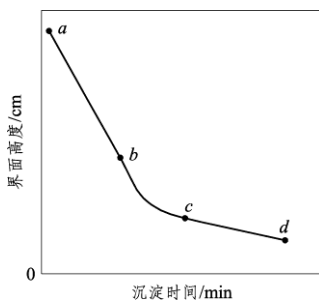


图 2-6 沉层沉淀实验中界面高度变化

1. 沉层沉淀阶段(ab段,等速沉淀阶段)

实验开始时,沉淀柱上端出现清晰的泥-水界面并等速下沉,这是由于悬浮颗粒的相互牵制和强烈干扰,均衡了它们各自的沉淀速度,使颗粒群体以共同干扰后的速度下沉。此时,污泥浓度不变,污泥颗粒等速沉降,它不因沉淀历时的不同而变化。表现为沉淀过程线上的 ab 段,是一斜率不变的直线,故称为等速沉淀段。界面的沉速与污泥的起始

浓度有关，污泥起始浓度越高，界面形成越快，沉降速度越慢。采用实验方法求 G_L 时，首先要测定这一阶段的沉速，以便求得 G_g ，然后通过计算得到 G_L 。

2. 过渡段 (bc 段)

过渡段又称变浓区，此段为污泥等浓区向压缩区的过渡段，其中既有悬浮物的干扰沉淀，也有悬浮物的挤压脱水作用。在沉淀过程线上，其是 bc 间所表现出的弯曲段，即沉速逐渐减小，此时等浓区消失，故 b 点又称为沉层沉淀临界点。

3. 压缩阶段 (cd 段)

当污泥浓度进一步增大后，颗粒间相互直接接触，下层污泥支撑着上层污泥，同时，在上层污泥颗粒的挤压下，水从污泥间隙中被挤出来。在这一阶段，泥水界面以极缓慢的速率下降，是等速沉淀的过程，但沉速很小。

多次静态沉降实验法是采用同一种污泥不同浓度单独进行实验的，并未考虑到实际沉淀池或浓缩池中污泥浓度是连续分布的，下层沉速较小的污泥层必将影响上层污泥的沉速，因此，由多次静态沉降实验法求得的 G_L 偏高，与实际值有一定的出入。

三、实验设备与试剂

- (1) 沉淀柱。有机玻璃沉淀柱，搅拌装置转速 $n = 1.0 \text{ r/min}$ ，底部有进水、放空孔。
- (2) 量筒、玻璃漏斗、滤纸、秒表、尺子。
- (3) 配水及投配系统 (见图 2-7)。

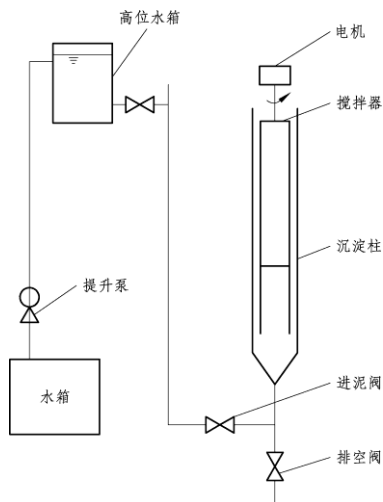


图 2-7 成层沉淀实验装置

四、实验步骤

(1) 将取自处理厂活性污泥曝气池内正常运行的混合液，放入水池，搅拌均匀，同时取样测定其原污泥混合液的污泥浓度 (MLSS)。

(2) 打开进泥阀，关闭放空阀，向沉淀柱进泥，同时开启搅拌。

(3) 混合液液面上升到一定位置 (视泥量而定) 可以停止进泥。记录液面高度 H ，并开始计时。

(4) 分别在 30 s、1 min、2 min、4 min、7 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min、40 min，记录不同沉降时间所对应的界面沉降高度。实验数据记录可参考表 2-1。

(5) 再配置两种与前面不同浓度 (梯度升高) 的污泥，测定 MLSS，重复 2~4 步骤实验。

(6) 运行完毕，打开排空阀，用自来水清洗沉淀柱。

五、注意事项

(1) 向沉淀柱进水时，速度应适中。速度过慢，进水过程柱内容易形成浑液面；速度过快，会使柱内水体紊动，影响实验结果。

(2) 第一次成层沉淀实验，污泥浓度要与设计曝气池混合液浓度一致，且沉淀时间要尽可能长一些。

六、实验结果整理

(1) 记录实验设备和操作的基本参数。

实验日期：_____年 _____月 _____日 污泥来源：_____

沉淀柱高度 H ：_____ m 沉淀柱直径 D ：_____ m

混合液浓度 MLSS：_____ mg/L

(2) 实验数据记录可以参考表 2-1。

(3) 以沉淀时间 t 为横坐标，界面高度 H 为纵坐标，作 $H-t$ 关系图。

(4) 以界面高度与时间关系曲线的直线部分计算界面沉速 u_i 和 G_g 。参考表 2-2 进行记录：

表 2-2 污泥本身的重力产生的固体通量计算表

计算值	曝气池混合液	配制混合液 1	配制混合液 2
污泥浓度 $C_i/(g \cdot L^{-1})$			
界面沉降速度 $u_i(u_i = \Delta h/\Delta t)/(cm \cdot min^{-1})$			
$G_g(G_g = u_i \cdot C_i)/(kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1})$			

(5) 以污泥浓度 C_i 为横坐标, G_g 为纵坐标, 作重力沉降固体通量曲线 (见图 2-4, 用坐标纸绘制)。

七、思考题

- (1) 观察实验现象, 试说明沉层沉淀与絮凝沉淀的不同之处及其原因。
- (2) 沉淀水深对界面沉降速度是否有影响?
- (3) 成层沉淀的重要性, 如何运用到二沉池的设计上?

实验三 混凝实验

混凝沉淀能广泛用于微污染水源水、生活污水、工业废水以及二沉池出水深度处理中的浊度、悬浮颗粒物 (SS)、微生物、有机物、氮、磷、重金属、色度、石油类、细小纤维的去除, 混凝沉淀或混凝气浮是水处理工艺中常见的和重要的处理单元之一。

水和水中均匀分布的细小颗粒所组成的分散体系, 按颗粒的大小可分为三类: 颗粒直径小于 1 nm 的分子和离子为真溶液; 颗粒尺寸介于 1~100 nm 的为胶体溶液; 颗粒尺寸大于 100 nm 的称为悬浮液。当向呈分散体系的水中投加一定量的混凝剂 (或药剂) 时, 在水动力学条件下, 混凝剂与胶体颗粒、真溶液中能与某些化学物质发生反应的细小颗粒 (如重金属与硫离子、碳酸根离子、氢氧根离子形成的硫化物、碳酸盐和氢氧化物等) 相互聚合, 形成可以自由沉淀的絮体, 这一过程叫混凝沉淀。

通过混凝沉淀实验, 可以帮助学生了解混凝剂的种类及其效能、影响混凝的主要因素或混凝条件、混凝过程及其机理、混凝的水动力学条件及其设备、混凝沉淀去除的对象及其构筑物设计。因而, 混凝沉淀实验在水处理科研和工程中应用极其广泛。

一、实验目的

- (1) 加深了解混凝沉淀的原理、设备、混凝剂类型及效能。
- (2) 通过实验过程了解水动力学条件、混凝剂种类及投加量、pH 值等对混凝沉淀效果的影响, 并确定适宜的实验条件。
- (3) 观察絮体的形成过程, 分析混凝沉淀机理。

二、实验原理

地表水、生活污水和工业废水中常常存在大量的无机和有机胶体颗粒, 如总有机碳 (TOC)、腐殖质颗粒、铝硅酸盐细小矿物颗粒、游离细菌和病毒、乳化油等, 成为地表水体浑浊和污 (废) 水处理泥水分离不清的一个重要原因。胶体表面带有电荷, 且电荷不平衡分布, 致使靠近固相表面的液相形成的反离子不均匀分布, 从而构成双电层。胶

体颗粒间的静电斥力、胶粒的布朗运动及胶粒表面的水化作用,使得胶粒具有分散稳定性。胶体颗粒不可能通过自然沉淀去除。

在胶体颗粒间的静电斥力、胶粒的布朗运动及胶粒表面的水化作用中,静电斥力的影响最大。因此,当向水中投加混凝剂时,能大量增加水中的高价正离子,从而压缩胶体的双电层,使胶体颗粒的 ζ 电位降低,固液界面间的静电斥力减小,水化作用减弱,发生快速絮凝作用(先异向絮凝,后同向絮凝)。同时,混凝剂水解后形成的高分子物质或直接加入水中的高分子物质多具有链状结构,在水动力学作用下,形成吸附架桥作用,使胶体颗粒相互接触,逐渐形成较大絮凝体(俗称矾花),发生自然沉淀。

混凝沉淀过程是一连续作用的过程。为便于研究和表达,混凝沉淀被划分为混合和反应两个阶段。混合阶段要求被处理的原水、污水或废水与混凝剂在较强水动力学作用下快速分散混合,使混凝剂迅速分散,并与胶体颗粒发生相互作用或碰撞,从而压缩胶体颗粒的双电层,使之脱稳,进行异向絮凝和同向絮凝,形成微絮凝体;反应阶段则要求降低水动力学作用或慢速搅拌,使微絮凝体在混凝剂高分子物质作用下发生吸附架桥,形成较密实的大粒径矾花。

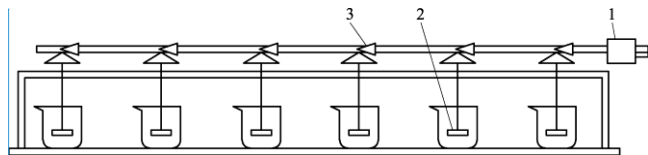
对于水中溶解性污染物,如重金属离子和溶解性有机物,不宜直接采用混凝沉淀去除,但可以先投加某些化学组分,调节pH值,使其发生某种化学反应,形成化学沉淀物或胶体,再采用混凝沉淀方法对其去除。如 Cd^{2+} 直接采用混凝剂,去除效果较差,若先投加碳酸钠或碳酸氢钠,使之形成碳酸镉沉淀,再采用混凝剂絮凝沉淀,则效果会明显改善。

三、实验设备及材料

(1) 实验用水:学校池塘水、自制污水。

(2) 实验材料:硫酸铝、氯化铝和三氯化铁混凝剂若干,化学纯盐酸和氢氧化钠溶液各1瓶。

(3) 实验设备:六联电动搅拌器1台(见图2-8);1000 mL和250 mL烧杯、1000 mL量筒、500 mL容量瓶、250 mL容量瓶、1 mL和5 mL移液管若干;COD快速测定仪、紫外分光光度计、酸度计、浊度仪各1台(套);万分之一电子天平、温度计、秒表及卷尺各1个。



1—变速电动机;2—搅拌叶片;3—传动装置。

图 2-8 六联电动搅拌器

批注 [13]: 根据实际情况来修改。

四、实验步骤及记录

实验每 4 人一组，任选学校池塘水、自制污水其中的一种实验用水进行实验。

(一) 适宜药剂投加量实验

(1) 测量实验用水的水温、微污染水源水的浊度及 pH。

(2) 确定形成矾花所用的最小混凝剂量：慢速搅拌烧杯中 200 mL 原水，每次投加混凝剂 0.5 mL，直至出现矾花为止时消耗的混凝剂为形成矾花的最小混凝剂投加量。

(3) 用 1000 mL 量筒定量量取 6 个水样至 6 个大烧杯中。

(4) 确定实验时的混凝剂投加量：根据步骤 (2) 得出的形成矾花最小混凝剂投加量，取其 1/3、2/3、1、4/3、5/3、2 倍分别加入 1~6 号烧杯中。

(5) 将烧杯置于搅拌机中，开启搅拌机，调整转速，中速运转数分钟，同时将设计混凝剂投加量分别用移液管投加到相应烧杯中，并快速搅拌 30 s (300~500 r/min)，然后调到中速搅拌 4.5 min (120~150 r/min)，之后再调至慢速搅拌 10 min (50~80 r/min)。

(6) 搅拌过程中，注意观察并记录矾花形成的过程以及矾花外观、大小等；搅拌结束后，将烧杯取出，置一旁静置沉淀 10 min，观察矾花沉淀过程、沉降速度快慢、密实程度，并记录在表 2-3 中。

表 2-3 实验现象观察记录

实验过程	实验过程现象描述
快速搅拌	
中速搅拌	
慢速搅拌	
静置沉淀	

(7) 沉淀结束后，小心倒取烧杯中上清液约 100 mL (够水样分析测试即可)，检测混凝沉淀后出水或上清液的浊度、pH，并填入原始数据记录表 2-4 中。

表 2-4 实验原始数据记录

使用混凝剂名称		进水浊度 (NTU)			原水温度	原水 pH	原水体积/mL
水样编号		1	2	3	4	5	6
药剂投加量	mL						
	mg/L						
出水浊度 (NTU)							
沉淀后 pH							

(8) 基于实验结果,并结合混凝沉淀过程所观察到的现象、相关原理,对实验结果进行讨论分析。如果实验结果不够理想,可基于实验结果重新设计实验,重复上述实验步骤。

(二) 适宜 pH 值实验

(1) 测量实验用水的水温、微污染水源水的浊度及 pH。

(2) 用 1 000 mL 量筒定量量取 6 个水样至 6 个大烧杯中。

(3) 调整原水 pH,用移液管依次向 1 号、2 号、3 号装有水样的烧杯中分别加入 2.5 mL、1.0 mL、0.2 mL 浓度为 5% 的盐酸溶液,依次向 4 号、5 号、6 号装有水样的烧杯中分别加入 2.0 mL、3.0 mL、4.0 mL 浓度为 5% 的氢氧化钠溶液,经搅拌均匀后用 pH 计测定水样的 pH。再向每杯中按照最佳混凝剂投加量加入混凝剂。

(4) 将烧杯置于搅拌机中,开启搅拌机,调整转速,中速运转数分钟,同时将设计混凝剂投加量分别用移液管投加至相应烧杯中,并快速搅拌 30 s (300 ~ 500 r/min),然后调到中速搅拌 4.5 min (120 ~ 150 r/min),之后再调至慢速搅拌 10 min (50 ~ 80 r/min)。

(5) 搅拌过程中,注意观察并记录矾花形成的过程以及矾花外观、大小等;搅拌结束后,将烧杯取出,置一旁静置沉淀 10 min,观察矾花沉淀过程、沉降速度、密实程度,并记录在表 2-3 中。

(6) 沉淀结束后,小心倒取烧杯中上清液约 100 mL (够水样分析测试即可),检测混凝沉淀后出水或上清液的浊度(或其他污染物)、pH,并记录原始数据(见表 2-4)。

(7) 基于实验结果,并结合混凝沉淀过程所观察到的现象,对实验结果进行讨论分析。如果实验结果不够理想,可基于实验结果重新设计实验,重复上述实验步骤。

(三) 适宜水动力学条件实验

(1) 设计实验搅拌时间安排表(见表 2-5)。

表 2-5 搅拌时间安排

设计方案	快速搅拌时间/s	中速搅拌时间/s	慢速搅拌时间/s
1	30	270	600
2	45	255	600
3	60	240	600
4	75	225	600

(2) 测量原水的水温、微污染水源水的浊度及 pH。

(3) 用 1 000 mL 量筒定量量取 4 个水样至 4 个大烧杯中。

(4) 将水样 pH 调节至最佳 pH 值。

(5) 将烧杯置于搅拌机中,开启搅拌机,调整转速,中速运转数分钟,同时将设计混凝剂投加量分别用移液管投加至相应烧杯中,并按实验搅拌时间安排表中的设计时间进行快速搅拌、中速搅拌和慢速搅拌。

(6) 搅拌过程中,注意观察并记录矾花形成的过程以及矾花外观、大小等;搅拌结

束后,将烧杯取出,置一旁静置沉淀 10 min,观察矾花沉淀过程、沉降快慢、密实程度,并记录在表 2-3 中。

(7) 沉淀结束后小心倒取烧杯中上清液约 100 mL (够水样分析测试即可),检测混凝沉淀后出水或上清液的浊度(或其他污染物)、pH,并记录原始数据(见表 2-4)。

(8) 基于实验结果,并结合混凝沉淀过程所观察到的现象,对实验结果进行讨论分析。如果实验结果不够理想,可基于实验结果重新设计实验,重复上述实验步骤。

五、数据整理(适宜投药量、pH 值、水动力学条件的确定)

以投药量(或 pH 值、水动力学条件)为横坐标,以剩余浊度(或 SS、COD、磷等其他污染物)为纵坐标,绘制投药量(或 pH 值、水动力学条件)-剩余浊度(或 SS、COD、磷等其他污染物)曲线,从曲线上求得本次实验适宜的实验结果,包括适宜的混凝剂种类及其投加量、混凝沉淀的适宜 pH 值和水动力学条件、污染物的去除效果等。

六、思考题

- (1) 根据实验结果以及实验中所观察到的现象,简述影响混凝的几个主要因素。
- (2) 结合混凝沉淀原理,说明混凝沉淀主要影响因素在混凝沉淀过程中的作用。

七、注意事项

- (1) 混凝沉淀实验取水时,所取用自来水样要搅拌均匀,要一次量取,以避免所取水样水质不均。
- (2) 混凝沉淀出水或静置沉淀上清液取样时,要在烧杯的相同深度或位置上取上清液,并避免把沉淀的矾花扰动起来。

实验四 过滤与反冲洗实验

一、实验目的

- (1) 观察过滤及反冲洗现象,进一步了解过滤及反冲洗原理。
- (2) 掌握实验的操作方法。
- (3) 掌握滤池工作中主要技术参数的测定方法。

二、实验原理

1. 水过滤原理

水的过滤是根据地下水通过地层过滤形成清洁井水的原理而创造的处理浑浊水的方法。在处理过程中,过滤一般是指以石英砂等颗粒状滤料层截留水中悬浮杂质,从而使

水达到澄清的工艺过程。过滤是水中悬浮颗粒与滤料颗粒间黏附作用的结果。黏附作用主要决定于滤料和水中颗粒的表面物理化学性质,当水中颗粒迁移到滤料表面上时,在范德华引力和静电引力以及某些化学键和特殊的化学吸附力作用下,它们被黏附到滤料颗粒的表面上。此外,某些絮凝颗粒的架桥作用也同时存在。经研究表明,过滤主要还是悬浮颗粒与滤料颗粒经过迁移和黏附两个过程来完成去除水中杂质的过程。

2. 滤料层的反冲洗

过滤时,随着滤层中杂质截留量的增加,当水头损失增至一定程度时,导致滤池产生水量锐减,或由于滤后水质不符合要求,滤池必须停止过滤,并进行反冲洗。反冲洗的目的是清除滤层中的污物,使滤池恢复过滤能力。滤池冲洗通常采用自上而下的水流进行反冲洗的方法。反冲洗时,滤料层膨胀起来,截留于滤层中的污物在滤层孔隙中的水流剪力作用下,以及在滤料颗粒碰撞摩擦的作用下,从滤料表面脱落下来,然后被冲洗水流带出滤池。反冲洗效果主要取决于滤层孔隙水流剪力,该剪力既与冲洗流速有关,又与滤层膨胀有关。冲洗流速小,水流剪力小;冲洗流速大,使滤层膨胀度增大,滤层孔隙中水流剪力又会降低,因此,冲洗流速应控制适当。

三、实验设备与试剂

- (1) 设备:过滤实验装置一套(无阀滤池)、浊度仪、200 mL 烧杯、100 mL 烧杯。
- (2) 试剂:具有一定浊度的污水。

四、实验方法与操作步骤

- (1) 配置实验废水,测定废水浊度 Z_0 。
- (2) 打开电源,开启水泵,过滤开始。
- (3) 关闭出水阀门,待水箱中水全部进入无阀滤池后,测定无阀滤池上部液体的浊度 Z_1 及下部液体的浊度 Z_2 。
- (4) 利用真空泵实现反冲洗,测量反冲洗 30 s 后反冲洗废水的浊度为 Z_3 (若水箱中水位达不到要求,自行添加适量水)。
- (5) 关闭水泵、关闭阀门。

五、实验记录与分析

1. 实验记录

- (1) 记录浊度变化(见表 2-6)。
- (2) 记录过滤前后、反冲洗前后的水质变化现象。

表 2-6 浊度变化记录

废水浊度 Z_0	滤池上层清液浊度 Z_1	滤池下层清液浊度 Z_2	浊度降低率 A	浊度降低率 B	反冲洗液浊度 Z_3
			$(Z_1 - Z_0) / Z_0$	$(Z_2 - Z_0) / Z_0$	

2. 思考与分析

- (1) 分析过滤前后、反冲洗前后水质浊度变化的原因。
- (2) 分析过滤效果的影响因素。
- (3) 分析反冲洗效果的影响因素。

六、注意事项

- (1) 水泵不能在无水的情况下运行。
- (2) 由于进水、出水水箱容量有限，需及时调整各水箱中水位，以免溢出。

实验五 超滤实验

一、实验目的

- (1) 了解和熟悉超过滤膜分离的工艺流程。
- (2) 了解膜分离技术的特点。

二、分离机理

根据溶解-扩散模型，膜的选择透过性是由于不同组分在膜中的溶解度和扩散系数不同而造成的。若假设组分在膜中的扩散服从 Fick 定律，则可推出透水速率 F_w 及溶质通过速率 F_s 方程。

1. 透水速率

$$F_w = \frac{D_w c_w V_M (\Delta p - \Delta \pi)}{RT \delta} = A' (\Delta p - \Delta \pi)$$

式中 F_w ——透水速率， $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ；
 D_w ——水在膜中的扩散系数， cm^2/s ；
 c_w ——水在膜中的浓度， g/cm^3 ；
 V_M ——水的偏摩尔体积， cm^3/mol ；
 Δp ——膜两侧的压力差， atm ；

$\Delta\pi$ —膜两侧的渗透压差, atm;

R —气体常数;

T —温度, K;

δ —膜的有效厚度, cm;

A' —膜的水渗透系数, $A' = \frac{D_w c_w V_M}{RT\delta}$, $g/(cm^2 \cdot s \cdot atm)$;

2. 溶质透过速率

$$F_s = \frac{D_s K_s \Delta c}{\delta} = \frac{D_s K_s (c_2 - c_3)}{\delta} = B \Delta c = B(c_2 - c_3)$$

式中 D_s —溶质在膜中的扩散系数, cm^2/s ;

K_s —溶质在溶液和膜两相中的分配系数;

B —溶质渗透系数;

Δc —膜两侧的浓度差。

有了上述方程, 下面建立中空纤维在定态时的宏观方程。料液在管中流动情况如图 2-9 所示。

取假设条件:

- (1) 径向混合均匀。
- (2) $\pi_A = BX_A$, 渗透压正比于摩尔分数。
- (3) $N_A \ll N_B$, $X_{A3} \ll 1$, B 组分优先通过。
- (4) $D_{AM} / K \cdot \delta$, 同 X_{A1} 或 K 无关。
- (5) $PeB = \frac{\bar{U}_0 L}{E} = \infty$, 忽略轴向混合扩散。

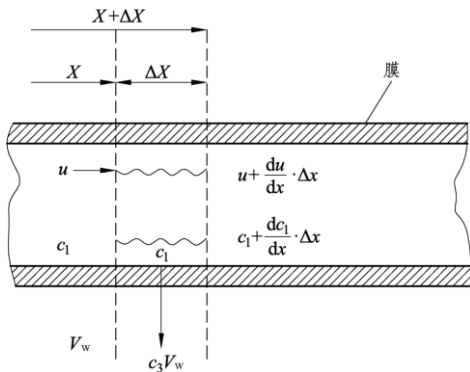


图 2-9 料液在管中流动示意图

由假设看出,其实质是一维问题,只是侧壁有液体流出的情况,因为关心的是管中组分的浓度分布和平均速度分布,只需做出两个质量衡算方程即可求解。

连续性方程:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \text{div}c\bar{u} = -P$$

\downarrow \downarrow \downarrow
 0 $\frac{dc\bar{u}}{dx}$ (源相)
 (定态) (无混合扩散)

总流率方程:

$$J_A = A \cdot P - A \cdot \pi_{A'}^0 (c_1 - c_3)$$

\downarrow \downarrow
 压力项 渗透项

由以上两方程可推出

$$\frac{d\bar{u}}{dx} = \frac{V_w^0 [1 - r(c_1 - c_3)]}{h} \quad (2-3)$$

式中, h 为装填系数。对于圆管: $h = R/2$, R 为圆管半径。

$$V_w^0 = \frac{A \cdot P}{c}$$

$$r = \frac{\pi_{A'}^0}{P}$$

由溶质 A 的连续性方程

$$\frac{\partial c_A}{\partial t} + \text{div}c_A\bar{u} = -P'_A$$

可推出

$$\frac{-d\bar{u}c_1}{dx} = \frac{c_3 V_w}{h} \quad (2-4)$$

实际工作中更关心的是回收率, $\Delta = 1 - \frac{\bar{u}}{u_0}$, 因此需要将式(2-3)和式(2-4)转化为 Δ 和 c_1 的方程。

$$\frac{d\Delta}{dx} = -\frac{d\bar{u}}{dx} = -\frac{h}{V} \frac{d\bar{u}}{dx} = [1 - r(c_1 - c_3)] \quad (2-5)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \bar{u} \frac{dc_1}{dx} &= -(c_1 - c_3) \frac{d\bar{u}}{dx} \\ \rightarrow \frac{dc_1}{dx} &= \frac{c_1 - c_3}{1 - \Delta} \cdot \frac{d\Delta}{dx} \end{aligned} \quad (2-6)$$

由流率方程可推出 c_1 与 c_3 的关系为

$$c_1 = c_3 \left\{ 1 + \frac{1}{rc_3 + \theta} \exp \left[\frac{1}{\lambda(rc_3 + \theta)} \right] \right\} \quad (2-7)$$

$$\lambda = \frac{D/L}{D_{AM}/K\delta}$$

式中

$$\theta = \frac{D_{AM}/K\delta}{V_M^0}$$

式(2-5)、式(2-6)为非线性方程,一般只能在特定条件下求得数值解。但当 $r=0$ 时,则化为线性微分方程,可求得解析解。

三、实验设备、流程和仪器

1. 主要设备

中空纤维超滤组件如图 2-10 所示。

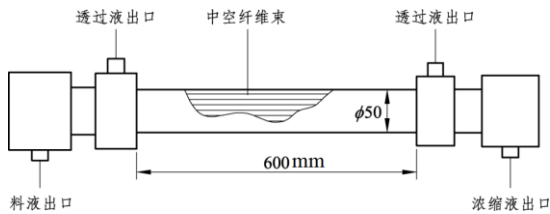


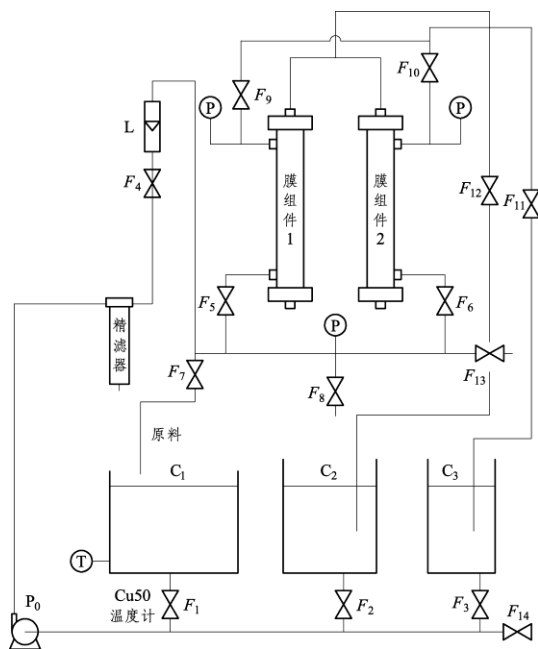
图 2-10 中空纤维超滤器示意图

组件技术指标:

截留分子量: 6000; 膜材料: 聚砜; 流量范围: 10~50 L/h; 操作压力: <0.2 MPa;
 适用温度: 5~30 ℃; 膜面积: 0.5 m²; 组件外形尺寸: $\phi 50 \times 640$ mm; pH: 1~14; 材
 质: 全不锈钢(1Cr18Ni9Ti); 装置外形尺寸: 长 \times 宽 \times 高 = 960 mm \times 500 mm \times 1 800 mm;
 泵: 磁力泵(严禁空转); 电压: 380 V, 50 Hz; 精滤器滤芯: 材质为聚砜, 精度 5~10 μ m,
 阻力增大, 可以反吹。

2. 工艺流程

工艺流程如图 2-11 所示。



C₁—原料液储槽；C₂—浓缩液储槽；C₃—透过液液罐；F₁、F₂、F₃—C₁、C₂和C₃的排液阀；F₄—C₁和C₂的出口阀；F₅、F₆—组件1和2的入口阀；F₇—排液阀；F₈—保护阀；F₉、F₁₀—组件1和2出口调节阀；F₁₁—透过液取样阀；F₁₂—浓缩液取样阀；F₁₃—浓缩液循环阀；F₁₄—排放阀；P—压力表；L—玻璃转子流量计；P₀—液体输送泵。

图 2-11 工艺流程

3. 主要仪器

722 型分光光度计，用于分析聚乙二醇浓度。

四、实验方法与步骤

1. 实验方法

将预先配制的聚乙二醇料液在 0.04 MPa 压力和室温下，进行不同流量的超过滤实验（实验点由指导老师指定）；30 min 时，取分析样品。取样方法：从原料液储槽中用移液

管取 5 mL 浓缩液入 50 mL 容量瓶中, 与此同时在透过液出口端 (F₁₁ 处) 用 100 mL 烧杯接取透过液 50 mL, 然后用移液管从烧杯中取 10 mL 放入另一容量瓶中。两容量瓶的样品进行比色测定聚乙二醇的浓度。烧杯中剩余透过液和透过液储罐中透过液全部倾入原料液储槽中, 混匀。然后进行下一个流量实验。

2. 操作步骤

- (1) 722 型分光光度计通电预热 20 min 以上。
- (2) 放出超滤组件中的保护液。为防止中空纤维膜被微生物侵蚀而损伤, 非工作期间, 在超滤组件内加入保护液。在实验前, 须将保护液放净。
- (3) 清洗超滤组件。为洗去残余的保护液, 用自来水清洗 2~3 次, 然后放净清洗液。
- (4) 检查实验系统阀门开关状态。使系统各部门的阀门处于正常运转的“开”或“关”状态。
- (5) 将配制的聚乙二醇料液加入原料液储槽中计量, 记录聚乙二醇的体积。用移液管取料液 5 mL 放入容量瓶 (50 mL) 中, 以测定原料液的初始浓度。
- (6) 泵内注液。在启动泵之前, 须向泵内注满原料液。
- (7) 启动液体输送泵稳定运转 20 min 后, 按“实验方法”进行条件实验, 做好记录。数据取足即可停泵。
- (8) 清洗超滤组件。待超滤组件中的聚乙二醇溶液放净以后, 用自来水代替原料液, 在较大流量下运转 20 min 左右, 清洗组件中残余聚乙二醇溶液。
- (9) 加保护液。如果 10 h 以上不使用超滤组件, 须加入保护液至组件的 1/2 高度。然后密闭系统, 避免保护液损失。
- (10) 将仪器清洗干净, 放在指定位置; 切断分光光度计的电源。

五、数据处理

- (1) 按表 2-7 记录实验条件和数据。

表 2-7 实验条件和数据记录表

压力 (表压): _____ MPa 温度: _____ °C 日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

实验序号	起止时间	浓度 / (mg · L ⁻¹)			流量 / (L · min ⁻¹)	
		原料液	浓缩液	透过液	浓缩液	透过液

- (2) 数据处理。

聚乙二醇 PVA 的脱除率:

$$f = \frac{\text{原料液初始浓度} - \text{透过液浓度}}{\text{原料液初始浓度}} \times 100\%$$

附: 聚乙二醇分析方法

- (1) 分析试剂及物品。

聚乙二醇: MW20000, 500 g; 冰乙酸: 化学纯, 500 mL; 碱式硝酸铋: 化学纯, 500 g; 碘化钾: 化学纯, 500 g; 醋酸钠: 化学纯, 500 g; 蒸馏水; 棕色容量瓶: 100 mL 两个; 容量瓶: 500 mL 一个、1 000 mL 一个、100 mL 十个; 移液管: 50 mL 一支、5 mL 两支; 量液管: 5 mL 一支; 量筒: 250 mL 一个、10 mL 两个; 工业滤纸若干。

(2) 发色剂配制。

A 液: 准确称取 1.600 g 碱式硝酸铋置于 100 mL 容量瓶中, 加冰乙酸 20 mL, 蒸馏水稀释至刻度。

B 液: 准确称取 40 g 碘化钾置于 100 mL 棕色容量瓶中, 蒸馏水稀释至刻度。

Dragendoff 试剂: 量取 A 液、B 液各 5 mL 置于 100 mL 棕色容量瓶中, 加冰乙酸 40 mL, 蒸馏水稀释至刻度。有效期为十年。

醋酸缓冲液的配制: 称取 0.2 mol/L 醋酸钠溶液 590 mL 及 0.2 mol/L 冰乙酸溶液 410 mL 置于 1 000 mL 容量瓶中, 配制成 pH4.8 醋酸缓冲液。

(3) 分析操作。

用比色法测量原料液、透过液和浓缩液的浓度。

仪器——722 型分光光度计, 使用前认真阅读说明书。

开启分光光度计电源, 将测定波长置于 510 nm 处, 预热 20 min。

绘制标准曲线: 准确称取在 60 °C 下干燥 4 h 的聚乙二醇 1.000 g 溶于 1 000 mL 容量瓶中, 分别吸取聚乙二醇溶液 0.5 mL、1.5 mL、2.5 mL、3.5 mL、4.5 mL 稀释于 100 mL 容量瓶内配制成浓度为 5 mg/L、15 mg/L、25 mg/L、35 mg/L、45 mg/L 的聚乙二醇标准溶液。再各取 50 mL 加入 100 mL 容量瓶中, 分别加入 Dragendoff 试剂及醋酸缓冲液各 10 mL, 蒸馏水稀释至刻度, 放置 15 min。在波长 510 nm 下, 用 1 cm 比色池, 在 722 型分光光度计上测定光密度, 蒸馏水为空白。以聚乙二醇浓度为横坐标, 光密度为纵坐标作图, 绘制出标准曲线。

取试样 50 mL 置于 100 mL 容量瓶内, 用与标准曲线操作相同的方法测试样光密度值, 绘制出标准曲线。

实验六 活性炭吸附实验

一、实验目的

活性炭处理工艺是运用吸附的方法以去除异味、某些离子以及难进行生物降解的有机污染物。在吸附过程中, 活性炭比表面积起着主要作用。同时, 被吸附物质在溶剂中的溶解度也直接影响吸附的速度。此外, pH 的高低、温度的变化和被吸附物质的分散程度也对吸附速度有一定的影响。

本实验采用吸附柱连续吸附的方法, 通过本实验确定活性炭对水中所含某些杂质的吸附能力。希望达到下述目的:

(1) 掌握吸附实验的基本操作过程。

- (2) 加深理解吸附的基本原理。
- (3) 掌握穿透曲线的测定和绘制方法。

二、实验原理

本实验装置为三根活性炭吸附柱。在吸附柱内装填颗粒活性炭。吸附是一种物质附着在另一种物质表面的过程。当活性炭对水中所含杂质吸附时，水中的溶解性杂质在活性炭表面积聚而被吸附，同时也有一些被吸附物质，由于分子的运动而离开活性炭表面，重新进入水中，即发生解吸现象。当吸附和解吸处于动态平衡状态时，称为吸附平衡，这时活性炭和水之间的溶质浓度分配比例处于稳定状态。有些物质脱附后需定时从塔内活性炭中排出，这时用气、水反冲办法是最好的解决方法。

活性炭的良好吸附效果，能有效去除水中的有机物、除色、除臭味物质。

当用活性炭装入吸附柱，以不同时间流出液中溶质浓度（可用吸光度代替）为纵坐标，以通过此柱的液体的体积或时间为横坐标作图，从而得到穿透曲线。

当吸附质浓度为 C_0 的废水进入吸附柱后，在起初一段时间内，出水浓度为零。到水中出现吸附质时，该时刻便为吸附柱的穿透点。此后，如果废水继续通过，则最终会出现出水浓度与进水浓度相等或二者保持一很小差值的现象。

测定吸附柱的穿透曲线，在工程应用中对于了解吸附柱的吸附能力有较大的意义。

三、实验设备与试剂

仪器：活性炭吸附实验装置（带活性炭）、可见分光光度计（带玻璃比色皿4个）。

材料：锥形瓶、漏斗、擦镜纸（2本）、滤纸（一盒）。

试剂：甲基绿（120 $\mu\text{g/mL}$ ）。

四、实验方法与操作步骤

1. 实验废水的准备

- (1) 检查关闭以下阀门：
 - ① 进水箱和出水箱的排空阀门；
 - ② 进水流量计的调节阀。
- (2) 将 120 $\mu\text{g/mL}$ 的甲基绿实验废水倒入进水箱。

2. 吸附实验

(1) 设计吸附实验的流量和吸附时间（如 3 mL/min ，10 min 测一次直至穿透），从开始到穿透，至少应测定 8 次数据。

(2) 插上进水泵电源插头，水泵开始工作，慢慢打开流量计调节阀，让流量转子处于 1/2 高度。慢慢打开最后一根活性炭柱的下端出水阀（不要开大），开至出水流量与进水流

量基本平衡(流量计转子基本上处于 1/2 高度)。然后调节流量计至所需要的实验流量。

(3) 试验水动态流经三个活性炭柱一定时间后,慢慢打开第一、二根活性炭柱下端出水阀,分别取第一、二、三根活性炭柱的出水,在 580 nm 测定吸光度($A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$)。

(4) 整个实验过程中,如果出现活性炭柱上端积累空气太多的现象,可打开上端的排气阀,排出多余空气后关闭阀门。

3. 实验完毕后的整理

(1) 实验结束,首先关闭第三根活性炭柱的出水阀。

(2) 拔掉进水箱的电源插头。

(3) 注入自来水至进水箱。

(4) 开启进水泵,开启流量计调节流量至最大,开启第三根活性炭柱的出水阀 1/3 左右,让自来水清洗三个活性炭柱。

(5) 当第三个活性炭柱的出水洁净时,关闭出水阀,关闭流量计,关闭进水泵。

(6) 防控进水箱和出水箱的积水,待下次实验备用。

五、实验记录与分析

1. 实验记录(见表 2-8)

表 2-8 实验记录

流量(m^3/s): _____ 甲基绿初始浓度(mg/L): _____

时间/s	吸光度	时间/s	吸光度
0		70	
10		80	
20		90	
30		100	
40		110	
50		120	
60		130	

2. 实验分析

根据实验数据,绘制穿透曲线。

六、思考

(1) 以吸光度值代替浓度值为纵坐标绘制穿透曲线,有何不同?

(2) 根据环境监测的相关知识,请设计甲基绿溶液的浓度测定方法。

实验七 离子交换实验

一、实验目的和要求

离子交换法是一种借助于离子交换剂上的离子和废水中的离子进行交换反应而除去废水中有害离子的方法。离子交换是一种特殊吸附过程，通常是可逆性化学吸附，其特点是吸附水中离子化物质，并进行等电荷的离子交换。

离子交换剂分无机离子交换剂（如天然沸石、人工合成沸石）以及有机离子交换剂（如磺化煤和各种离子交换树脂）。

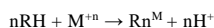
在应用离子交换法进行水处理时，需要根据离子交换树脂的性能设计离子交换设备，决定交换设备的运行周期和再生处理。通过本实验希望达到下述目的：

- (1) 加深对离子交换基本理论的理解；学会离子交换树脂的鉴别。
- (2) 学会离子交换设备操作方法。
- (3) 学会使用手持式盐度计，掌握 pH 计、电导率仪的校正及测量方法。

二、实验内容和原理

由于离子交换树脂具有交换基因，其中的可游离交换离子能与水中的同性离子进行等当量交换。

用酸性阳离子交换树脂除去水中阳离子，反应式如下：

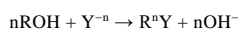


式中 M——阳离子；

n——离子价数；

R——交换树脂。

用碱性阴离子交换树脂除去水中的阴离子，反应式如下：



式中 Y——阴离子。

离子交换法是固体吸附的一种特殊形式，因此也可以用解吸法来解吸，进行树脂再生。

本实验采用自来水为进水，进行离子交换处理。因为自来水中含有较多量的阴、阳离子，如 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 K^+ 、 Na^+ 等。在某些工农业生产、科研、医疗卫生等工作中所用的水，以及某些废水深度处理过程中，都需要除去水中的这些离子。而采用离子交换树脂来达到目的是可行的方法。

本实验采用测量水中电导率值或盐度的方法来间接地、近似地表示离子的去除情况。

三、主要仪器设备

离子交换树脂的鉴别：

30 mL 试管数支；吸管 1 支；5 mL 移液管数支；废液缸一个；1 mol/L HCl 溶液；5 mol/L NH_4OH 溶液；1 mol/L NaOH 溶液；10% CuSO_4 溶液；酚酞指示剂；甲基红指示剂。

离子交换树脂对水中离子的交换作用：

烧杯 50 mL 5 只；METTLER TOLEDO 326 电导率仪 1 台；PHS-9V 型酸度计一台；手握式盐度计一支；清水；模拟废水；流量计；砂滤柱；阳树脂柱；阴树脂柱；混合树脂柱装置一套。

交换柱有效值： $\phi = 9 \text{ cm}$ ， $h = 100 \text{ cm}$ 。

离子交换实验装置流程如图 2-12 所示。

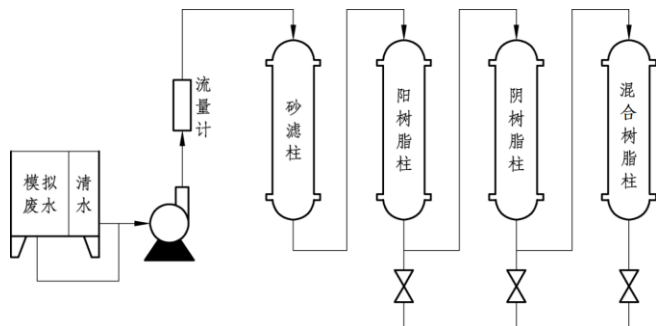


图 2-12 离子交换实验装置流程

四、操作方法和实验步骤

► 离子交换树脂的鉴别

第一步：

- (1) 取试样树脂 2 g，置于 20 mL 试管中，用吸管吸去树脂的附着水。
- (2) 加入 1 mol/L HCl 5 mL，摇动 1~2 min，将上部清液吸去，重复操作 2~3 次。
- (3) 加入纯水，摇动后将上部清液吸去，重复操作 2~3 次。
- (4) 加入 10% CuSO_4 5 mL，摇动 1 min，按 (3) 充分用纯水清洗。

第二步：

经过第一步处理，如树脂变为浅绿色，加入 5 mol/L NH_4OH 2 mL，摇动 1 min，用纯水充分清洗。如树脂经处理后，颜色加深（深蓝）则为强酸性阳离子交换树脂。如树脂保持浅绿颜色不变，则为弱碱性阴离子交换树脂。

第三步：

- 经第一步处理后，如树脂不变色，则：
- (1) 加入 1 mol/L NaOH 5 mL，摇动 1 min 后用纯水充分清洗干净。
 - (2) 加入酚酞 5 滴，摇动 1 min，用纯水充分清洗。
 - (3) 经此处理后，树脂呈红色，则为强碱性阴离子交换树脂。

第四步:

经第三步处理后,树脂不变色,则:

(1) 加入 1 mol/L HCl 5 mL, 摇动 1 min, 然后用纯水清洗 2~3 次。

(2) 加入 5 滴甲基红, 摇动 1 min, 用纯水充分清洗。

(3) 经处理后, 树脂呈桃红色, 则为弱酸性阳离子交换树脂; 如树脂不变色, 则该树脂无离子交换能力。

➤ 离子交换树脂对水中离子的交换作用

(1) 熟悉离子交换柱的流程、阀门的位置和开阀的次序。

(2) 测定原水 pH、电导率, 记入表 2-9 中。

(3) 打开进水阀, 调节进水流量, 分别在 50 L/h、20 L/h 进水流量下进行实验。

(4) 在相应的进水流量分别稳定 30min、55 min 后, 分别取进水水样、阳树脂柱出水水样、阴树脂柱出水水样、混合树脂柱出水水样各 20 mL。测定各水样的 pH、电导率、盐度。

五、实验数据记录和处理

1. 离子交换实验数据记录 (见表 2-9)

表 2-9 离子交换实验数据记录

实验日期: ____年 ____月 ____日

原水特性: 温度 ____℃ pH: ____ 电导率: ____μS/cm 盐度: ____ppm

交换柱 水流速度	出水水质								
	阳离子交换柱			阴离子交换柱			阴阳离子交换柱		
	盐度 /ppm	pH	电导率/ (μS/cm)	盐度 /ppm	pH	电导率/ (μS/cm)	盐度 /ppm	pH	电导率/ (μS/cm)
50 L/h									
20 L/h									

2. 离子交换柱对出水盐度、pH 值、电导率的影响规律分析

$$\text{盐度去除率} = \frac{\text{原水样盐度} - \text{交换柱出水样盐度}}{\text{原水样盐度}} \times 100\%$$

六、实验结果与分析

(1) 离子交换树脂的鉴别: 鉴别各类离子交换树脂的具体方法步骤与产生的反应结果。

(2) 不同离子交换柱出水性质变化探讨分析。

(3) 不同流量对交换柱出水性质的影响探讨。

(4) 水样盐度与电导率关系分析。

实验八 活性污泥的生物相形态观察实验

一、目的与要求

- (1) 观察活性污泥的性状和微生物种类。
- (2) 测定污泥沉降比。
- (3) 初步判断污水生物处理的净化效果。

二、基本原理

活性污泥中生物比较复杂,以细菌、原生动物为主,同时还有真菌、后生动物等。某些细菌能分泌胶黏物质,形成菌胶团,进而组成污泥絮绒体(绒粒)。在正常的成熟污泥中,细菌大多集中于菌胶团絮绒体中,游离细菌较少,此时,污泥絮绒体可具有一定形状,结构稠密、折光率强、沉降性好。原生动物常作为污水净化指标,当固着型纤毛虫占优势时,一般认为污水处理效果较好。丝状微生物构成污泥絮绒体的骨架,少数伸出絮绒体外,当其大量出现时,常可造成污泥膨胀或污泥松散,使污泥池运转失常。当后生动物如轮虫等大量出现时,表明污泥极度衰老,净化处理效果差。

三、实验材料和用具

- (1) 某污水处理厂的活性污泥。
- (2) 量筒(100 mL)、载玻片、盖玻片、滴管。
- (3) 显微镜。

四、实验内容及步骤

(一) 测污泥沉降比(SV₃₀)

肉眼观察,取曝气池的混合液置于100 mL量筒内,直接观察活性污泥在量筒中呈现的絮绒体外观及其沉降性能(沉降30 min后的污泥体积)。

(二) 观察活性污泥生物相

1. 制备水浸片

取活性污泥混合液1~2滴滴于载玻片上,加盖玻片制成水浸标本片。

2. 显微镜观察

低倍镜观察:观察生物相的全貌,要注意污泥结构松紧程度、菌胶团和丝状菌的比例及生长状况,观察微型动物的种类及活动状况,并加以记录和做出必要的描述。

① 污泥絮粒。

污泥絮粒性状是指污泥絮粒的形状、结构、紧密度及污泥中丝状菌的数量。镜检时可把近似圆形的絮粒称为圆形絮粒，与圆形截然不同的称为不规则形状絮粒。絮粒中网状空隙与絮粒外面悬液相连的称为开放结构；无开放空隙的称为封闭结构。絮粒中菌胶团细菌排列致密，絮粒边缘与外部悬液界限清晰的称为紧密的絮粒；边缘界限不清的称为疏松的絮粒。实践证明，圆形、封闭、紧密的絮粒相互间易于凝聚、浓缩，沉降性能良好；反之则沉降性能差。

② 丝状微生物。

活性污泥中的丝状菌数量是影响污泥沉降性能最重要的因素。当污泥中丝状菌占优势时，可从絮粒中向外伸展，阻碍絮粒间的浓缩，使污泥 SV_{30} （污泥沉降比）值和 SVI （污泥体积指数）值升高，造成活性污泥膨胀。根据污泥中丝状菌与菌胶团细菌的比例，可将丝状菌分成如下五个等级：

- 0级：污泥中几乎无丝状菌存在；
- ±级：污泥中存在少量丝状菌；
- +级：存在中等数量的丝状菌，总量少于菌胶团细菌；
- + +级：存在大量丝状菌，总量与菌胶团细菌大致相等；
- + + +级：污泥絮粒以丝状菌为骨架，数量超过菌胶团而占优势。

五、实验记录及报告

(1) 将镜检结果填入表 2-10 中。

表 2-10 镜检结果记录

采样地点：

采样时间：

絮体形态	圆形、不规则形
絮体结构	开放；封闭
絮体紧密度	紧密；疏松
丝状菌数量	0；±；+；++；+++
游离细菌	几乎不见；少；多
优势种动物名称及状态描述	
其他动物种名称	
污泥沉降比（ SV_{30} ）	

(2) 根据活性污泥的性状和动物种类判断污水生物处理的净化效果。

实验九 活性污泥性质的测定实验

一、实验目的

- (1) 加深对活性污泥性能，特别是污泥活性的理解。
- (2) 掌握几项污泥性质的测定方法。
- (3) 掌握水分快速测定仪的使用。

二、实验原理

活性污泥是人工培养的生物絮凝体，它是由好氧微生物及其吸附的有机物组成的。活性污泥具有吸附和分解废水中的有机物（也有些可利用无机物质）的能力，显示出生物化学活性。在生物处理废水的设备运转管理中，除用显微镜观察外，污泥沉降比（SV）、污泥浓度（MLSS）、污泥体积指数（SVI）、污泥灰分和挥发性污泥浓度（MLVSS）也是重要的污泥性质指标，反映了污泥的活性，与剩余污泥排放量及处理效果等有密切关系。

三、实验设备

- (1) 水分快速测定仪 1 台。
- (2) 真空过滤装置 1 套。
- (3) 秒表 1 块。
- (4) 分析天平 1 台。
- (7) 定量滤纸数张。
- (8) 1 000 mL 量筒 4 个。
- (9) 500 mL 烧杯 2 个。
- (10) 玻璃棒 2 根。
- (11) 烘箱 1 台。

四、实验步骤

(1) 污泥沉降比（SV）（%）：取混合均匀的泥水混合液 100 mL 置于 100 mL 量筒中，静置 30 min 后，观察沉降的污泥占整个混合液的比例，记下结果。

(2) 污泥浓度（MLSS）：就是单位体积的曝气池混合液中所含污泥的干重，实际上是指混合液悬浮固体的数量，单位为 mg/L。

① 测定方法。

- a. 将滤纸放在 105 °C 烘箱中干燥至恒重，称量并记录（ W_1 ）。
- b. 将该滤纸剪好平铺在布氏漏斗上（剪掉的部分滤纸不要丢掉）。

c. 将测定过沉降比的 100 mL 量筒内的污泥全部倒入漏斗, 过滤 (用水冲净量筒, 并将水也倒入漏斗)。

d. 将载有污泥的滤纸移入烘箱 (105 °C) 或快速水分测定仪中烘干至恒重, 称量并记录 (W_2)。

② 计算。

污泥浓度 (g/L) = [(滤纸质量+污泥干重) - 滤纸质量] × 10 / 污泥体积

(3) 污泥体积指数 (SVI): 污泥体积指数全称污泥容积指数, 是指曝气池混合液经 30 min 静沉后, 1 g 干污泥所占的容积 (单位为 mL/g)。计算式如下:

$$SVI = \frac{SV(\%) \times 10(\text{mL/L})}{MLSS(\text{g/L})}$$

SVI 值能较好地反映出活性污泥的松散程度 (活性) 和凝聚、沉淀性能, 一般在 100 左右为宜。

(4) 污泥灰分和挥发性污泥浓度 (MLVSS): 挥发性污泥就是挥发性悬浮固体, 它包括微生物和有机物, 干污泥经灼烧后 (600 °C) 剩下的灰分称为污泥灰分。

① 测定方法。

先将已知恒重的磁坩称量并记录 (W_3), 再将测定过污泥干重的滤纸和干污泥一并放入磁坩中, 先在普通电炉上加热碳化, 然后放入马弗炉内 (600 °C) 烧 40 min, 取出放入干燥器内冷却, 称量 (W_4)。

② 计算。

污泥灰分 = 灰分质量 / 干污泥质量 × 100%

MLVSS = (干污泥质量 - 灰分质量) / 100 × 1 000 (g/L)

在一般情况下, MLVSS/MLSS 的比值较固定, 对于生活污水处理池的活性污泥混合液, 其比值常在 0.75 左右。

五、实验结果整理

$$MLSS = \frac{W_2 - W_1}{V} (\text{g/L})$$

式中 W_1 ——滤纸的净重, mg;

W_2 ——滤纸及截留悬浮物固体的质量之和, mg;

V ——水样体积, L。

$$MLVSS = [(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)] / V (\text{mg/L})$$

式中 W_3 ——坩埚质量, mg;

W_4 ——坩埚与无机物总质量, mg。

其余同上式

$$SVI = SV(\%) \times 10 / MLSS (\text{g/L})$$

试验测定结果如表 2-11 所示。

表 2-11 活性污泥性能测定

项目	W_1/mg	W_2/mg	$(W_2 - W_1)/\text{mg}$	SV/%	MLSS/(mg/L)	SVI/(mL/g)
数值	279.4	473.7	194.3	36	1943	185

六、注意事项

- (1) 测定坩埚质量时, 应将坩埚放在马弗炉中灼烧至恒重为止。
- (2) 由于实验项目多, 实验前准备工作要充分, 不要弄乱。
- (3) 仪器设备应按说明调整好, 使误差减小。

七、思考题

- (1) 活性污泥吸附性能指的是什么? 它对污水底物的去除有何影响? 试举例说明。
- (2) 影响活性污泥吸附性能的因素有哪些?
- (3) 简述活性污泥吸附性能测定的意义。

实验十 废水可生物降解性能实验

一、实验目的和要求

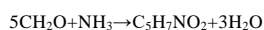
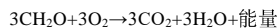
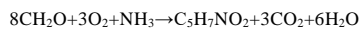
根据微生物的降解性能, 有机污染物可分为三种类型。第一类是可生物降解的有机污染物, 第二类是难生物降解的有机污染物, 第三类是不可生物降解的有机污染物。考虑到毒性, 第一、第二类有机污染物又可分为四种类型: ① 能够为微生物所降解, 而且对微生物的生理功能无抑制作用的有机污染物; ② 能够为微生物所降解, 但对微生物有毒害作用的有机污染物; ③ 难于为微生物所降解, 但对微生物无毒害作用的有机污染物; ④ 难于为微生物所降解, 而且对微生物有毒害作用的有机污染物。上述四种类型的有机污染物中, 第一类适宜于采用生物处理技术进行处理。第二类经过对微生物做一定时间的驯化, 有可能采用生物处理技术进行处理。第三类也有可能采用生物处理技术进行处理, 但必须对微生物进行较长时间的诱导驯化。第四类不宜采用生物处理技术进行处理。

本实验通过测定微生物的呼吸耗氧特性来确定某种废水是否具有进行生化处理的可能性。

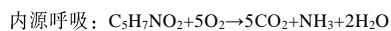
二、实验内容和原理

微生物降解有机污染物的物质代谢过程中所消耗的氧包括两部分: (1) 氧化分解有机物, 使其分解为 CO_2 、 H_2O 、 NH_3 (存在含氮有机物时) 等为合成新细胞提供能量; (2) 供微生物进行内源呼吸, 使细胞物质氧化分解。以下反应式可以说明物质代谢过程

中的这一关系。



从以上反应式可以看到：约 1/3 的 CH_2O （酪蛋白）被微生物氧化分解为 CO_2 、 H_2O ，同时产生能量供微生物合成新的细胞，这一过程要消耗氧。



由以上反应式可以看到，内源呼吸过程氧化 1 g 微生物需要的氧量为：1.42 g（ $5\text{O}_2/\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 = 100/113 = 1.42$ ），微生物进行物质代谢过程的需氧速率可以用下式表示：

总的需氧速率 = 合成细胞的需氧速率 + 内源呼吸的需氧速率

即

$$\left(\frac{dO}{dt}\right)_T = \left(\frac{dO}{dt}\right)_F + \left(\frac{dO}{dt}\right)_e$$

上式中三项分别为：总的需氧速率 [$\text{mg}/(\text{L}\cdot\text{min})$]；降解有机物，合成新细胞的耗氧速率 [$\text{mg}/(\text{L}\cdot\text{min})$]；微生物内源呼吸需氧速率 [$\text{mg}/(\text{L}\cdot\text{min})$]。

采用华氏呼吸器来测定微生物在以某种废水中的有机物为呼吸基质，进行呼吸过程氧气的消耗量和二氧化碳的产量，就可以间接地知道微生物对该废水中有机物的降解情况。再与一个不加呼吸基质的呼吸反应相比较，从而确定该废水是否可以采用生化方法来进行处理。

呼吸反应可用图 2-13 来表示：

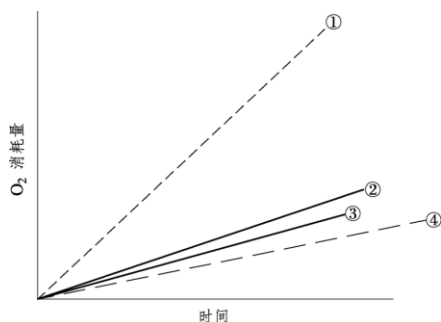


图 2-13 呼吸反应示意图

图中曲线③为不加呼吸基质（被测废水）的呼吸反应，即属微生物的内源呼吸反应。当被测废水得到了如①那样的曲线时，则说明该废水中含有较多的有机物质并且能被微生物作为呼吸基质来利用，故得到了一条较高于曲线③的曲线。当被测量废水得到的曲线是类似②曲线时，则说明废水中能被微生物利用的物质不多，故只是得到了一条稍高

于曲线③的曲线，则说明该废水不宜做生化处理。当被测废水得到的是一条低于曲线③的曲线时（如曲线④），即说明该废水中含有一些能对微生物进行抑制或毒害的物质，从而抑制了微生物的正常呼吸作用，故得到一条低于曲线③的曲线，这种废水当然不能做生化处理。因此通过微生物对废水的呼吸反应的测定，就能快速、简便地测出某种废水的可生化性程度。

三、主要仪器设备

（一）实验装置

本实验通过测定反应器混合溶液中溶解氧的变化，获得微生物的氧消耗量，从而得到微生物的呼吸耗氧曲线，就能快速、简便地判断某种废水的可生化性程度，实验装置如图 2-14 所示。

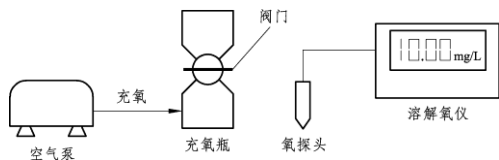


图 2-14 废水可生化性测定实验装置示意图

（二）实验设备及仪器

655 mL 生化反应器 4 个；空气泵 1 台；溶解氧测定仪 1 台；时钟 1 个；100 mL 量筒；磺基水杨酸、分散蓝、营养液及自来水。

四、操作方法和实验步骤

- （1）将活性污泥曝气一段时间，使其中的微生物处于饥饿状态。
- （2）取 4 个生化反应器，打开阀门，分别加入 550 mL 自来水、磺基水杨酸、分散蓝废水和营养液。
- （3）将活性污泥静止一段时间，并去除上清液；各取污泥 100 mL 分别加入 4 个反应器中，测定各反应器中的溶解氧浓度。
- （4）关闭反应器阀门，20 min 后打开阀门，再测定各反应器中的溶解氧浓度，关闭反应器阀门。
- （5）每隔 20 min 打开阀门后迅速测定一次各反应器中混合液的溶解氧浓度。
- （6）记录每次测定溶解氧浓度，并计算耗氧速率。

五、实验数据记录和处理 (见表 2-12、表 2-13)

表 2-12 废水可生化性测定实验——溶解氧数据表

自来水溶液		营养液		分散蓝溶液		碘基水杨酸溶液	
时间/ min	溶解氧 浓度/ (mg/L)	时间/ min	溶解氧 浓度/ (mg/L)	时间/ min	溶解氧 浓度/ (mg/L)	时间/ min	溶解氧 浓度/ (mg/L)
0		0		0		0	
20		20		20		20	
40		40		40		40	
60		60		60		60	
80		80		80		80	
100		100		100		100	

表 2-13 废水可生化性测定实验——耗氧量数据表

自来水溶液		营养液		分散蓝溶液		碘基水杨酸溶液	
时间/ min	耗氧量/ (mg/L)	时间/ min	耗氧量/ (mg/L)	时间/ min	耗氧量/ (mg/L)	时间/ min	耗氧量/ (mg/L)
0		0		0		0	
20		25		25		20	
40		40		40		40	
60		60		60		60	
80		80		80		80	
100		100		100		100	

六、实验结果与分析

活性污泥微生物呼吸曲线与耗氧曲线分析。

实验十一 污泥比阻测定实验

一、实验目的

- (1) 掌握用布氏漏斗污泥比阻的测定方法。
- (2) 了解不同污泥的过滤比阻，并掌握判断污泥过滤性能强弱的判定方法。

二、实验原理

1. 原理

污泥比阻是表示污泥过滤特性的综合性指标，它的物理意义是：单位质量的污泥在

一定压力下过滤时在单位过滤面积上的阻力。求此值的作用是比较不同的污泥（或同一污泥加入不同量的混合剂后）的过滤性能。污泥比阻越大，过滤性能越差。

过滤时滤液体积 V (mL) 与推动力 p (过滤时的压强降, g/cm²)、过滤面积 F (cm²)、过滤时间 t (s) 成正比；而与过滤阻力 R (cm · s²/mL)、滤液黏度 μ [g/(cm · s)] 成反比。

$$V = \frac{pFt}{\mu R} \quad (2-8)$$

过滤阻力包括滤渣阻力 R_2 和过滤隔层阻力 R_g 。而阻力随滤渣层的厚度增加而增大，过滤速度则减小。因此将式 (2-8) 改写成微分形式。

$$\frac{dV}{dt} = \frac{pF}{\mu(R_2 + R_g)} \quad (2-9)$$

由于 R_g 相对 R_2 来说较小，为简化计算，姑且忽略不计，即

$$\frac{dV}{dt} = \frac{pF}{\mu\alpha'\delta} = \frac{pF}{\mu\alpha \frac{C'V}{F}} \quad (2-10)$$

式中 α ——单位体积污泥的比阻，s²/mL；

δ ——滤渣厚度；

C' ——获得单位体积滤液所得的滤渣体积，mL/mL。

如以滤渣干重代替滤渣体积，单位质量污泥的比阻代替单位体积污泥的比阻，则式 (2-10) 可改写为

$$\frac{dV}{dt} = \frac{pF^2}{\mu\alpha CV} \quad (2-11)$$

式中， α 为污泥比阻，在 CGS 制中，其量纲为 s²/g，在工程单位制中其量纲为 cm/g。

在定压下，在积分界线由 0 到 t 及 0 到 V 内对式 (2-11) 积分，可得

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu\alpha C}{2pF^2} \cdot V \quad (2-12)$$

式 (2-12) 说明在定压下过滤， t/V 与 V 成直线关系，其斜率为

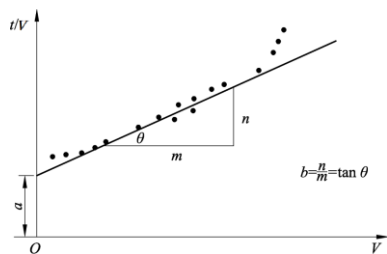
$$b = \frac{t/V}{V} = \frac{\mu\alpha C}{2pF^2}$$

$$\alpha = \frac{2pF^2}{\mu} \cdot \frac{b}{C} = K \frac{b}{C} \quad (2-13)$$

需要在实验条件下求出 b 及 C ，即可计算污泥比阻 α 。

2. b 的求法

在定压下（真空度保持不变）测定一系列的 $t/V-V$ 数据，用图解法求斜率（见图 2-15）。

图 2-15 图解法求 b 示意图3. C 的求法

C 是获得单位体积滤液所得的滤渣质量。

按照定义：

$$C = \frac{(Q_0 - Q_y)C_d}{Q_y} \quad (\text{g 滤饼干重/mL 滤液}) \quad (2-14)$$

式中 Q_0 ——污泥量, mL;

Q_y ——滤液量, mL;

C_d ——滤饼固体浓度, g/mL。

根据液体平衡 $Q_0 = Q_y + Q_d$

根据固体平衡 $Q_0 C_0 = Q_y C_y + Q_d C_d$

式中 C_0 ——污泥固体浓度, g/mL;

C_y ——滤液固体浓度, g/mL;

Q_d ——污泥固体滤饼量, mL。

可得
$$Q_y = \frac{Q_0(C_0 - C_d)}{C_y - C_d}$$

代入式 (2-14), 化简后得

$$C = C_d(C_y - C_0)/(C_0 - C_d) \quad (2-15)$$

但由于定义式需要测量滤饼的厚度, 在试验过程中测量滤饼厚度是非常困难的, 故试验中通常用测滤饼含水比的方法求 C 值。

$$C = \frac{1}{\frac{100 - C_i}{C_i} - \frac{100 - C_f}{C_f}} \quad (\text{g 滤饼干重/mL 滤液}) \quad (2-16)$$

式中 C_i ——100 g 污泥中的干污泥量 (污泥固体浓度);

C_f ——100 g 滤饼中的干污泥量 (滤饼固体浓度)。

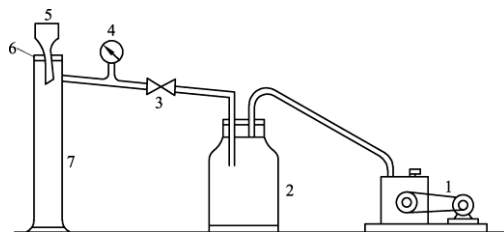
例如污泥含水比 97.7%, 滤饼含水率为 80%, 则 C 值为

$$C = \frac{1}{\frac{100-2.3}{2.3} - \frac{100-20}{20}} = \frac{1}{38.48} = 0.0260(\text{g/mL})$$

一般认为比阻在 $10^9 \sim 10^{10} \text{s}^2/\text{g}$ 的污泥算作难过滤的污泥, 比阻在 $(0.5 \sim 0.9) \cdot 10^9 \text{s}^2/\text{g}$ 的污泥算作中等, 比阻小于 $0.4 \cdot 10^9 \text{s}^2/\text{g}$ 的污泥容易过滤。

三、实验设备与试剂

(1) 实验装置如图 2-16 所示。



1—真空泵; 2—吸滤瓶; 3—真空调节阀; 4—真空表;
5—布氏漏斗; 6—吸滤垫; 7—计量管。

图 2-16 比阻实验装置

(2) 秒表、滤纸。

(3) 烘箱。

(4) 布氏漏斗。

(5) 湖底污泥, 试验田土壤。

四、实验方法与操作步骤

(1) 将污泥(1号)中大块的杂质去除, 备用。

(2) 将试验田土壤(2号)中的杂质拣出, 用水混合均匀, 去除多余水分, 备用。

(3) 取 50 mL 备用的污泥、试验田土壤, 测定其含水率, 求出其固定浓度 C_i 。

(4) 在布氏漏斗上(直径 65~80 mm)放置滤纸, 用水润湿, 贴紧周底。

(5) 开动真空泵, 调节真空压力, 大约比实验压力小 $1/3$ [实验时真空压力采用 266 mmHg (35.46 kPa) 或 532 mmHg (70.93 kPa)], 关掉真空泵。

(6) 加入 50 mL 需实验的污泥于布氏漏斗中, 开动真空泵, 调节真空压力至实验压力; 达到此压力后, 开始启动秒表, 并记下秒表开始计时时的计量管内的滤液 V_0 。

(7) 开始过滤时可每隔 15 s 记录计量管内相应的滤液量。滤速减慢后(通常 2 min

后) 可隔 30 s 或 60 s 记录计量管内相应的滤液量。

(8) 一直过滤至真空破坏, 如真空长时间不破坏, 则过滤 20 min 后即可停止。

(9) 关闭阀门, 取下滤饼放入称量瓶内称量。

(10) 称量后的滤饼于 105 °C 的烘箱内烘干 (2 h) 称量。

(11) 计算出滤饼的含水比, 求出单位体积滤液的固体量 C_f 。

五、实验报告记载及数据处理

(1) 测定并记录实验基本参数 (记录至表 2-14 中)。

① 实验日期;

② 原污泥的含水率及固体浓度 C_i ;

③ 实验真空度 (单位: mmHg);

④ 滤饼的含水率及固体浓度 C_f ;

⑤ 测定滤液的温度 T , 计算滤液动力黏度。

$$\mu (\text{Pa} \cdot \text{s}) = \frac{0.00178}{1 + 0.0337 \cdot T + 0.000221 \cdot T^2} \quad (\text{注意单位换算!})$$

(2) 将布氏漏斗实验所得数据按表 2-15 记录并计算。

(3) 以 t/V 为纵坐标, V 为横坐标作图, 求 b , 并填入表 2-14 中。

(4) 根据原污泥的含水率及滤饼的含水率求出 C , 并填入表 2-15 中。

(5) 列表计算比阻值 α (见表 2-16)。

表 2-14 固体浓度测定及单位体积滤液所得的滤渣体积计算

污泥编号	玻璃皿质量/g	100 mL 污泥+玻璃皿质量/g	烘干后污泥+玻璃皿质量/g	C_i /%	滤纸质量/g	湿滤纸+滤饼质量/g	干滤纸+滤饼质量/g	C_f /%	C (g/mL)	备注
1										
2										

表 2-15 布氏漏斗实验所得数据

时间/s	计量管滤液量 V' /mL	滤液量 $V = (V' - V_0)$ /mL	$\frac{t}{V}$ / (s/mL)	计算 b 值 (s/cm ⁶)	备注
0					
10					
20					
30					
45					
60					

续表

时间/s	计量管滤液量 V' /mL	滤液量 $V = (V' - V_0)$ /mL	$\frac{t}{V}$ / (s/mL)	计算 b 值 (s/cm ⁶)	备注
75					
90					
105					
120					
150					
180					
210					
240					
300					
360					
420					
480					

表 2-16 污泥比阻计算

污泥 编号	真空度 p /(g/cm ²)	液体 黏度 g /(cm·s)	布氏漏斗 直径 D /cm	过滤 面积 F /cm ²	面积 平方 F^2 /cm ⁴	K /(s·cm ³)	B /(s/mL ²)	C /s	α	备注
1										
2										

六、注意事项及思考题

1. 注意事项

- (1) 检查计量管与布氏漏斗之间是否漏气。
- (2) 滤纸称量烘干，放到布氏漏斗内，要先用蒸馏水湿润，然后再用真空泵抽吸一下，滤纸要贴紧，不能漏气。
- (3) 污泥倒入布氏漏斗内时，有部分滤液流入计量筒，所以正常开始实验后记录量筒内滤液体积。

- (4) 量筒中水量少，不便读数时，可以补充一定水量，使得水面高过最低刻度。
- (5) 在整个过滤过程中，真空度确定后始终保持一致。
- (6) 表示结果和判断污泥过滤情况时请注意单位之间的换算。
- (7) 绘制 $t/V-V$ 图（必须用坐标纸或者直接用 EXCEL 绘制）。

2. 思考题

测定污泥比阻在工程上有何实际意义？

