

普通高等教育“十二五”规划教材

污水处理全过程系统实践教程

代群威 康军利 主 编
沈淞涛 黄云碧 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

污水处理全过程系统实践教程

代群威 康军利 主 编
沈淞涛 黄云碧 副主编



化学工业出版社

本教材由污水处理过程涉及的实验、实习、设计三大部分组成，共十八章。结合环境工程专业在本科培养过程中的实践内容及课堂知识体系要求，将本专业的认识实习、课程实验、生产实习及课程设计等实践内容有效融合，重点对污水处理厂运行过程中所涉及的物理、化学及微生物学等基础内容设计相关监测实验，并针对不同构筑单元展开具体的实习与设计指导。全书选材广泛、内容丰富、实用性强，特别是附录中所补充的几种典型污水处理工艺的工艺流程及实践内容指引，使得相关内容更易被理解与消化掌握，增加了本教材的可读性和实用性。本教材适用于高等院校环境工程专业本科生的实践教学，也可供从事环境保护、环境监测、环境工程及相关工作的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

污水处理全过程系统实践教程/代群威，康军利主编. —北京：化学工业出版社，2014.5
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-20174-4

I. ①污… II. ①代…②康… III. ①污水处理-高等学校-教材 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 057519 号

责任编辑：满悦芝
责任校对：徐贞珍

装帧设计：尹琳琳

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 插页 3 字数 461 千字 2014 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：49.00 元

版权所有 违者必究

前 言

结合教育部高等学校“十二五”科学和技术发展规划，根据我国工科人才培养目标、未来社会对工科专业人才的要求及我国工程教育的发展方向，普通高校以输送实用型、高级专业技术人才为定位将成必要。

实践教学是高等学校工程教育的重要内容。我校环境工程专业近年来开展了国家级特色专业、省级实验教学示范中心、国家级卓越工程师培养计划等专业建设工作，围绕校内自建污水处理厂开展了专业实验、实习及设计等系列实践教学活动，形成持续性、递进的系统实践训练体系，并在环境工程专业本科生培养方面取得显著成效。鉴于目前环境工程专业系统实践教程较少，及实践教学在本科工程技能培养上的迫切需求。编者在大量实践教学经验及总结前人经验基础上完成了对本教材的编写。本书内容共分三篇，十八章，涵盖了污水处理过程中所涉及的实验、实习、设计三大部分。

本书中所述污水处理全过程系统实践共包括两层含义。第一个全过程是时间上的，是将围绕污水处理的实践教学融入到从大一到大四的整个本科培养期间；第二个全过程是工艺上的，是主体围绕污水处理的实践教学，从对污水厂的认识、污水厂各类指标监测、到对污水厂自动控制监控及日常维护管理的实践锻炼。

本书编者长期担任“水污染控制工程”、“环境工程微生物”、“环境监测”等课程的课堂教学和实践教学工作，结合我校环境工程专业 10 余年来依托自建污水处理厂所开展的各类实践教学内容，形成了围绕污水处理工程的全过程实践教学思路，并整理成册供教学参考之用。本书：第一篇及附录内容由黄云碧、代群威编写，第二篇第五、六、七章及第三篇由康军利编写，第二篇第八、九、十、十一章由沈淞涛编写。全书由代群威负责统稿，杨丽君老师、赵丽老师参与部分章节的资料整理工作，谭江月老师、王彬老师等参与部分图表绘制和文稿校对工作。西南科技大学环境与资源学院李虎杰教授在本书的构思及撰写过程中，提出了宝贵的建议。

由于编者理论水平与实践经验有限，不妥之处在所难免，热忱希望读者提出批评和意见。

编者
2014 年 5 月

目 录

第一篇 污水处理厂实验环节

第一章 污水处理厂水处理相关实验	1	实验	13
第一节 化学混凝实验	1	一、实验目的	13
一、实验目的	1	二、实验原理	13
二、实验原理	1	三、实验仪器	13
三、实验材料及装置	2	四、方法及步骤	13
四、实验内容	2	五、注意事项	13
五、实验结果与讨论	3	六、实验结果	13
第二节 加压溶气气浮实验	4	第二章 环境监测实验	15
一、实验目的	4	第一节 实验基础及污水处理厂处理水样的	
二、气浮原理	4	采集	15
三、实验水样	4	一、实验基础	15
四、实验设备及工艺流程	4	二、水样的保存和管理技术规定	17
五、实验步骤	5	三、水样的采集	25
六、实验结果与讨论	5	四、思考题	26
第三节 活性炭吸附实验	5	第二节 水样理化性质及 pH 值的测定	26
一、实验目的	5	一、总残渣	26
二、实验原理	5	二、色度的测定	28
三、实验设备及试剂	6	三、电导率的测定	30
四、实验步骤	7	四、pH 值的测定	32
五、实验数据及结果整理	8	五、思考题	33
六、思考题	9	第三节 污水厂进出口或氧化沟的水中氨	
第四节 活性污泥评价指标实验	9	氮的测定——纳氏试剂分光光	
一、实验目的	9	度法	33
二、实验原理	9	一、实验意义和目的	33
三、实验装置与设备	10	二、实验仪器	34
四、实验步骤	10	三、氨氮的测定原理	34
五、实验数据整理	10	四、实验步骤	34
六、实验结果与讨论	11	五、数据处理和数据分析	35
第五节 活性污泥法处理系统实验	11	六、实验注意事项	35
一、实验目的	11	第四节 废水中化学需氧量 (COD _{Cr}) 的	
二、实验原理与内容	11	测定及高锰酸盐指数	35
三、实验装置	12	一、重铬酸钾法 (国家标准法)	36
四、实验步骤与记录	12	二、高锰酸盐指数	38
五、实验数据与整理	13	三、思考题	42
六、思考题	13	第五节 污水厂环境空气氮氧化物 (一氧化氮	
第六节 多阶完全混合曝气污水处理模拟		和二氧化氮) 的测定——盐酸萘乙	

二胺分光光度法 (HJ 479—2009) ...	42
一、适用范围	42
二、原理	42
三、试剂	43
四、仪器	43
五、样品采集	44
六、分析步骤	44
七、结果的表示	45
八、注意事项	45
九、思考题	45
补充一：吸收瓶的检查	45
补充二：Saltzman 实验系数的测定	46
补充三：采样装置安装图	46
第六节 污水处理厂环境空气质量监测	47
一、实验目的和要求	47
二、空气中的 SO_2 的测定	47
三、 NO_x 的测定	50
四、TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的测定	53
五、CO 的测定	54
六、 O_3 的测定	56
七、空气质量计算	59
八、结果	60
第三章 噪声监测	61
第一节 污水厂噪声监测	61
一、实验目的和要求	61
二、仪器	61
三、实验内容	61
四、测量步骤	61
五、数据记录及结果评价	61
六、注意事项	61
第二节 污水厂厂界噪声测量	62

一、实验目的和要求	62
二、仪器	62
三、测量记录及数据处理	62
四、思考题	62
第四章 污水及污泥微生物检测	63
第一节 水体中细菌总数检测实验	63
一、目的要求	63
二、实验材料	63
三、操作步骤	63
四、实验报告	64
五、思考题	64
第二节 水体中粪便污染指示菌的检测—— 多管发酵法	64
一、目的要求	65
二、实验材料	65
三、实验方法与步骤	65
四、实验报告	68
五、思考题	68
第三节 污水生物处理过程中微生物的简单 分析	68
一、目的要求	68
二、实验材料	68
三、实验方法与步骤	68
四、实验报告	70
五、思考题	71
第四节 活性污泥微生物的镜检分析	71
一、目的要求	71
二、实验材料	71
三、实验方法与步骤	71
四、实验报告	73
五、思考题	73

第二篇 污水处理厂实习环节

第五章 污水处理厂的实习的目的和 内容	74
第一节 实习的目的和目标	74
一、实习的目的	74
二、实习的目标	74
第二节 实习的内容	74
一、污水处理工艺的学习与深化	74
二、污水处理厂的运行管理	75
三、污水处理厂的设计	75
第六章 污水处理系统的实习	76

第一节 预处理的运行管理	76
一、格栅	76
二、调节池	81
三、沉砂池	82
四、预处理对后续工艺的影响	86
第二节 污水泵站的运行管理	86
一、QW 型潜污泵的结构	87
二、潜污泵的运行影响因素	88
三、泵房操作规程	89
第三节 初沉池的运行管理	90
一、初沉池的作用	90

二、初沉池的形式及使用范围	90
三、初沉池的运行管理	90
第四节 活性污泥法的运行与管理	91
一、活性污泥法的净化过程	92
二、活性污泥法的影响因素	93
三、活性污泥法曝气系统	94
四、活性污泥的培养与驯化	96
第五节 活性污泥法的新工艺及其运行管理	98
一、氧化沟工艺	98
二、SBR 工艺	103
第六节 生物膜法的运行管理	111
一、生物滤池	111
二、曝气生物滤池	115
三、生物转盘	121
四、生物接触氧化法	124
五、生物流化床	126
第七节 升流式厌氧污泥床的运行管理	129
一、UASB 反应器的基本构成和原理	130
二、UASB 反应器的工艺特点	131
三、UASB 反应器的运行管理	131
第八节 二沉池的运行管理	133
一、二沉池的类型	133
二、二沉池的运行管理	134
第九节 消毒系统的运行与管理	136
一、液氯消毒	136
二、次氯酸钠消毒	137
三、紫外线消毒	138
第七章 污泥处理系统的实习	142
第一节 污泥处理概述	142
一、污泥种类	142
二、污泥的性能指标	142
三、污泥的处理方法	143
第二节 污泥浓缩与消化	143
一、污泥浓缩	143
二、污泥消化	145
第三节 污泥的药剂调理	148
一、污泥调理剂的类型	148
二、污泥药剂调理的注意事项	149
第四节 污泥脱水机的运行管理	150
一、常用的污泥脱水设备	150
二、带式压滤机的运行管理	152
第八章 污水处理机械设备的实习	155
第一节 污水处理厂设备的管理与维护	155

一、设备运行管理与维护的意义和内容	155
二、设备的运行管理与维护	155
第二节 污水处理厂设备的实习操作	
规程	160
一、粗、细格栅实习操作规程	160
二、沉砂池的实习操作规程	160
三、鼓风机操作规程	161
四、吸刮泥机操作规程	162
五、污泥搅拌机操作维护规程	162
六、螺杆泵操作规程	163
七、带式压滤机操作规程	164
第九章 城市污水处理厂仪表测量	
实习	165
第一节 测量仪表基础	165
一、概述	165
二、污水处理厂测量仪表基础知识	165
三、污水处理厂测量参数	167
第二节 污水处理厂测量仪表实习应用	167
一、污水处理厂常用测量仪表	167
二、在线仪表污水处理厂的应用示例	181
第三节 污水处理厂仪表的维护管理	181
一、巡回检查	181
二、定期润滑	181
三、定期排污	182
四、保温伴热	182
第十章 城市污水处理厂自动控制	
实习	184
第一节 自动控制实习基础	184
一、概述	184
二、自动控制系统	185
三、计算机控制技术	187
四、PLC 控制技术	188
第二节 污水处理厂自动控制应用实习	189
一、污水处理厂常用自动控制方案	189
二、污水处理厂自控系统案例	191
第十一章 污水处理电气设备的实习	195
第一节 电气设备操作实习的要求	195
一、电气设备的四种典型状态	195
二、电气设备的安全要求	195
第二节 高压配电装置运行管理与维护的	
实习	200
一、高压配电装置运行维护过程	200

二、电机控制柜	201
三、电动机运行使用的监视与维护	202

四、变频器的调试	202
五、二次设备的操作与维护	203

第三篇 污水处理厂设计环节

第十二章 污水厂设计依据与工艺流程

的选择	205
-----------	-----

第一节 设计依据	205
----------------	-----

一、国家标准	205
--------------	-----

二、标准图集	206
--------------	-----

三、设计手册	206
--------------	-----

第二节 工艺流程的选择	206
-------------------	-----

一、城市污水处理厂工艺流程概述	206
-----------------------	-----

二、污水处理工艺流程选择的依据和原则	206
--------------------------	-----

三、污水处理工艺流程的比较和选择方法	207
--------------------------	-----

第十三章 物理处理单元工艺设计

第一节 格栅的设计	208
-----------------	-----

一、格栅设计参数的确定	208
-------------------	-----

二、格栅的设计计算	209
-----------------	-----

三、格栅的选型	211
---------------	-----

第二节 沉砂池的设计	211
------------------	-----

一、曝气沉砂池设计	212
-----------------	-----

二、多尔沉砂池	213
---------------	-----

三、圆形涡流沉砂池	214
-----------------	-----

第三节 沉淀池的设计	216
------------------	-----

一、普通沉淀池的设计原则与参数选择	216
-------------------------	-----

二、辐流沉淀池的设计	216
------------------	-----

三、竖流式沉淀池的设计	219
-------------------	-----

第十四章 生物处理单元工艺设计

第一节 活性污泥处理单元设计	221
----------------------	-----

一、曝气池设计	221
---------------	-----

二、曝气系统的设计	222
-----------------	-----

第二节 氧化沟工艺设计	225
-------------------	-----

一、氧化沟设计参数	225
-----------------	-----

二、氧化沟设计计算	226
-----------------	-----

三、需氧量计算	228
---------------	-----

四、沉淀池和剩余污泥量的设计	228
----------------------	-----

五、氧化沟设计细节	229
-----------------	-----

第三节 SBR 工艺设计	230
--------------------	-----

一、设计参数	230
--------------	-----

二、SBR 工艺设计计算	232
--------------------	-----

三、供氧系统计算	233
----------------	-----

第四节 生物膜法工艺设计	233
--------------------	-----

一、生物滤池设计	233
----------------	-----

二、曝气生物滤池设计	235
------------------	-----

三、生物转盘的设计	239
-----------------	-----

四、生物接触氧化工艺设计	239
--------------------	-----

五、内循环好氧生物流化床工艺设计	242
------------------------	-----

第五节 上流式厌氧污泥床工艺设计	245
------------------------	-----

一、UASB 设计参数	245
-------------------	-----

二、UASB 设计	246
-----------------	-----

三、沼气净化及利用	248
-----------------	-----

第十五章 污泥处理与处置设计

第一节 浓缩与脱水工艺设计	249
---------------------	-----

一、重力浓缩池设计	249
-----------------	-----

二、板框压滤机设计选型	250
-------------------	-----

三、带式压滤机设计	251
-----------------	-----

第二节 污泥好氧发酵	252
------------------	-----

一、污泥好氧发酵工艺流程及类型	252
-----------------------	-----

二、好氧发酵工艺参数	253
------------------	-----

三、发酵池计算	254
---------------	-----

四、好氧发酵污染物排放及控制	254
----------------------	-----

第三节 污泥厌氧消化	254
------------------	-----

一、污泥厌氧消化的工艺流程及类型	254
------------------------	-----

二、厌氧消化池设计	255
-----------------	-----

三、中温污泥消化系统热平衡计算	257
-----------------------	-----

四、厌氧消化污染物排放	258
-------------------	-----

五、污染物削减及污染防治措施	258
----------------------	-----

六、污泥厌氧消化前处理新技术	258
----------------------	-----

第四节 污泥焚烧技术	259
------------------	-----

一、污泥焚烧工艺及类型	259
-------------------	-----

二、污泥焚烧的影响因素与工艺参数	260
------------------------	-----

三、污泥焚烧消耗与污染物削减	261
----------------------	-----

四、污染物排放及污染防治措施	261
----------------------	-----

五、污泥焚烧新技术	262
-----------------	-----

第五节 污泥土地处理技术	262
--------------------	-----

一、污泥土地处理工艺与类型	262
---------------------	-----

二、污泥土地处理工艺参数	263
--------------------	-----

三、土地利用污染物排放及其污染防治	264
-------------------------	-----

四、污泥土地处理最佳可行工艺	264
----------------------	-----

第六节 各种工艺单元污泥产量计算	265	一、工程结构形式	270
一、污水预处理工艺的污泥产量	265	二、工程结构与工艺设计的关系	270
二、带预处理系统的活性污泥法及其变形 工艺剩余污泥产生量	265	三、混凝土结构	271
三、不带预处理系统的活性污泥法及其变 形工艺剩余污泥产生量	265	四、砌体结构	272
四、带有预处理的好氧生物处理工艺污泥 总产量	265	五、钢结构	273
五、不带预处理的好氧生物处理工艺污泥 总产量	265	第二节 电气与自控设计	275
六、消化工艺污泥总产量	266	第三节 计量与检测设计	275
七、初次沉淀池污泥计量	266	第四节 其他辅助工程设计	276
第十六章 污水厂的总体布局设计	267	一、污水处理厂给水设计	276
第一节 污水厂的平面布置	267	二、污水处理厂雨水设计	276
一、各处理单元构筑物的平面布置	267	三、污水处理厂污水管网设计	276
二、管、渠的平面布置	267	第十八章 污水处理厂设计深度与 成果	277
三、辅助建筑物的平面布置	267	第一节 污水处理厂设计深度	277
四、厂区绿化	268	第二节 污水处理厂设计成果	277
五、道路布置	268	一、初步设计成果	277
第二节 污水厂的高程布置	268	二、施工图设计成果	282
一、高程布置的原则	268	参考文献	285
二、水头损失计算方法	269	附录 1 三沟式氧化沟工艺流程及实践 内容指引	
第十七章 工程结构与辅助工程设计 ...	270	附录 2 AOE 工艺流程及实践内容指引	
第一节 工程结构设计	270	附录 3 UNITANK 工艺流程及实践内容 指引	

第一篇 污水处理厂实验环节

第一章 污水处理厂水处理相关实验

第一节 化学混凝实验

一、实验目的

分散在水中的胶体颗粒带有电荷，同时在布朗运动及其表面水化作用下，长期处于稳定分散状态，不能用自然沉淀方法去除。向这种水中投加混凝剂后，可以使分散颗粒相互结合聚集增大，从水中分离出来。

由于各种废水差别很大，混凝效果不尽相同。混凝剂的混凝效果不仅取决于混凝剂种类、投加量，同时还取决于水的 pH 值、水温、浊度、水流速度梯度等的影响。

通过本次实验，希望达到以下目的。

- ① 加深对混凝沉淀原理的理解；
- ② 掌握化学混凝工艺最佳混凝剂的筛选方法；
- ③ 掌握化学混凝工艺最佳工艺条件的确定方法。

二、实验原理

化学混凝的处理对象主要是废水中的微小悬浮物和胶体物质。根据胶体的特性，在废水处理过程中通常采用投加电解质、相反电荷的胶体或高分子物质等方法破坏胶体的稳定性，使胶体颗粒凝聚在一起形成大颗粒，然后通过沉淀分离，达到废水净化效果的目的。关于化学混凝的机理主要有以下四种解释。

(1) 压缩双电层机理 当两个胶粒相互接近以至双电层发生重叠时，就产生静电斥力。加入的反离子与扩散层原有反离子之间的静电斥力将部分反离子挤压到吸附层中，从而使扩散层厚度减小。由于扩散层减薄，颗粒相撞时的距离减少，相互间的吸引力变大。颗粒间排斥力与吸引力的合力由斥力为主变为以引力为主，颗粒就能相互凝聚。

(2) 吸附电中和机理 异号胶粒间相互吸引达到电中和而凝聚；大胶粒吸附许多小胶粒或异号离子， ξ 电位降低，吸引力使同号胶粒相互靠近发生凝聚。

(3) 吸附架桥机理 吸附架桥作用是指链状高分子聚合物在静电引力、范德华力和氢键力等作用下，通过活性部位与胶粒和细微悬浮物等发生吸附桥连的现象。

(4) 沉淀物网捕机理 当采用铝盐或铁盐等高价金属盐类作凝聚剂时，当投加量很大形成大量的金属氢氧化物沉淀时，可以网捕、卷扫水中的胶粒，水中的胶粒以这些沉淀为核心产生沉淀。这基本上是一种机械作用。

在混凝过程中，上述现象常不是单独存在的，往往同时存在，只是在一定情况下以某种现象为主。

三、实验材料及装置

1. 主要实验装置及设备

① 化学混凝实验装置采用是六联搅拌器，其结构如图 1-1 所示。

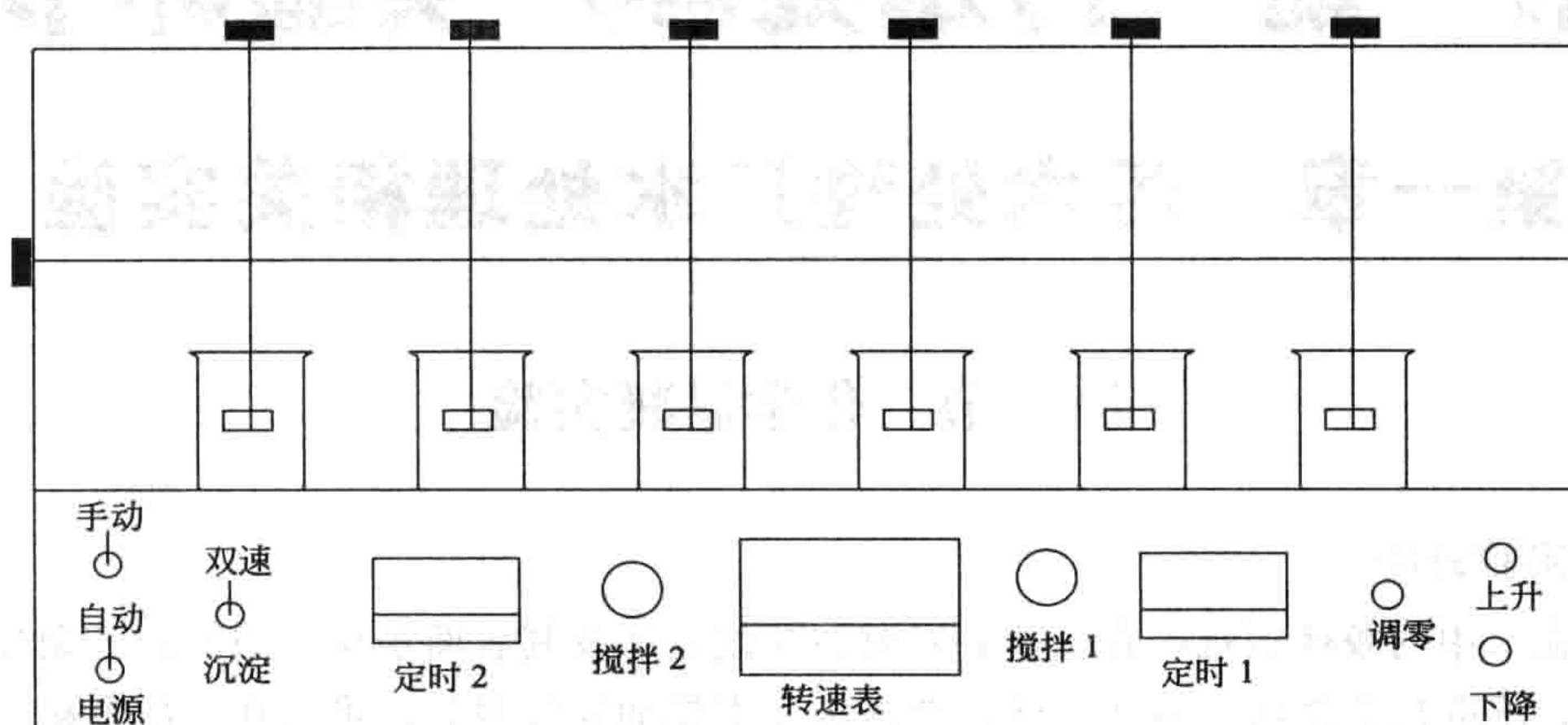


图 1-1 化学混凝实验装置

② 精密酸度计。

③ COD 测定装置。

④ 干燥箱。

⑤ 分析天平。

2. 实验用水

生活污水。

3. 实验药品

① 混凝剂：聚合硫酸铁（PFS）、聚合氯化铝（PAC）、聚合硫酸铁铝（PAFS）、聚丙烯酰胺（PAM）等。

② COD 测试相关药品。

四、实验内容

1. 实验方法

取 300mL 生活污水于 500mL 烧杯中，加酸或碱调整 pH 值后，按一定的比例投加混凝剂，在六联搅拌器上先快速搅拌（转速 200r/min）2min，再慢速搅拌（80r/min）10min，然后静置，观察并记录实验过程中絮体形成的时间、大小及密实程度、沉淀快慢、废水颜色变化等现象。静置沉淀 30min 后，于距表面 2~3cm 深处取上清液测定其 pH 值和 COD。

2. 实验步骤

(1) 最佳混凝剂的筛选 根据所选废水的水质特点，利用聚合硫酸铁（PFS）、聚合氯化铝（PAC）、聚合硫酸铁铝（PAFS）、聚丙烯酰胺（PAM）等常规混凝剂进行初步实验，根据实验现象和检测结果，筛选出适宜处理该废水的最佳混凝剂。

(2) 混凝剂最佳投加量的确定 利用筛选出的混凝剂，取不同的投加量进行混凝实验，实验结果记入表 1-1。根据实验结果绘制 COD 去除率与混凝剂投加量的关系曲线，确定最佳的混凝剂投加量。

表 1-1 最佳投药量实验记录

第_____组 姓名_____ 实验日期_____

原水温度_____℃ 色度_____ pH 值_____ COD _____ mg/L

使用混凝剂的种类及浓度_____

水 样 编 号	1	2	3	4	5	6
混凝剂投加量/(mg/L)						
矾花形成时间/min						
絮体沉降快慢						
絮体密实						
pH 值						
实验水样水质 色度						
COD/(mg/L)						
快速						
搅拌条件 中速 转速(r/min)						
慢速						
搅拌时间/min						
沉降时间/min						

(3) 最佳 pH 值的确定 调整废水的 pH 值分别为 6.0、6.5、7.0、7.5、8.0 进行混凝实验，实验结果记入表 1-2。根据实验结果绘制 COD 去除率与 pH 值的关系曲线，确定最佳的 pH 值条件。

表 1-2 最佳 pH 值实验记录

第_____组 姓名_____ 实验日期_____

原水温度_____℃ 色度_____ pH 值_____ COD _____ mg/L

使用混凝剂的种类及浓度_____

水 样 编 号	1	2	3	4	5	6
HCl 投加量/(mg/L)						
NaOH 投加量/(mL)						
絮体沉降快慢						
混凝剂的投加量/(mg/L)						
实验水样 pH 值						
pH						
实验水样水质 色度						
COD/(mg/L)						
搅拌条件 快速						
中速 转速/(r/min)						
慢速						
搅拌时间/min						
沉降时间/min						

(4) 考察搅拌强度和搅拌时间对混凝效果的影响 在混合阶段要求混凝剂与废水迅速均匀混合，以便形成众多的小矾花；在反应阶段既要创造足够的碰撞机会和良好的吸附条件让小矾花长大，又要防止生成的絮体被打碎。根据本实验装置——六联搅拌器的特点，通过烧杯混凝搅拌实验，确定最佳的搅拌强度和搅拌时间。

五、实验结果与讨论

1. 不同混凝剂对 COD 去除率的影响是什么？
2. 混凝剂的投加量对 COD 去除率的影响是什么？

3. pH 值对 COD 去除率的影响是什么?
4. 搅拌速度和搅拌时间对 COD 去除率的影响是什么?
5. 混凝最佳工艺条件如何确定?
6. 简述影响混凝效果的几个主要因素。
7. 为什么投药量大时, 混凝效果不一定好?
8. 和西南科技大学污水厂氧化沟工艺出水相比较 COD 去除率区别在于哪些因素?

第二节 加压溶气气浮实验

一、实验目的

在水处理工程中, 固-液分离是一种很重要的、常用的物理方法。气浮法是固液分离的方法之一, 它常被用来分离密度小于或接近于水、难以用重力自然沉降法去除的悬浮颗粒。气浮法广泛应用于分离水中的细小悬浮物、藻类及微絮体; 回收造纸废水的纸浆纤维; 分离回收废水中的浮油和乳化油等。通过本实验希望达到以下目的。

- ① 了解压力溶气气浮法处理废水的工艺流程;
- ② 了解溶气水回流比对处理效果的影响;
- ③ 掌握色度的测定方法。

二、气浮原理

气浮法是在水中通入空气, 产生细微气泡 (有时还需要同时加入混凝剂), 使水中细小的悬浮物黏附在气泡上, 随气泡一起上浮到水面形成浮渣, 再用刮渣机收集。这样, 废水中的悬浮物质得到了去除, 同时净化了水质。

气浮分为射流气浮、叶轮气浮和压力溶气气浮。气浮法主要用于洗煤废水、含油废水、造纸和食品等废水的处理。

三、实验水样

自配模拟水样或直接选择西南科技大学污水处理厂污水。

四、实验设备及工艺流程

气浮实验装置及工艺流程见图 1-2。

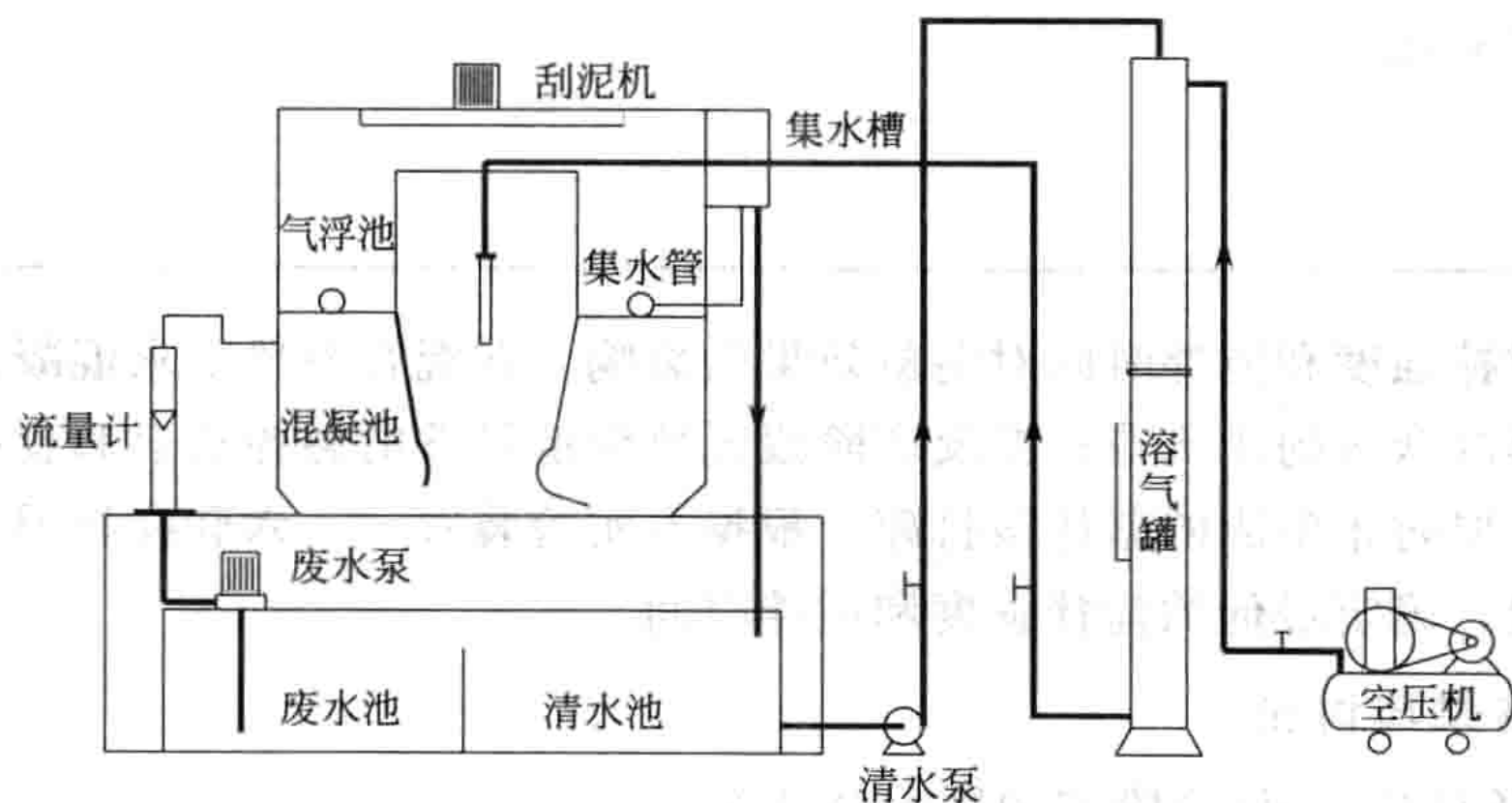


图 1-2 气浮实验装置及工艺流程

五、实验步骤

① 熟悉实验工艺流程。

② 废水用 6mol/L 的 NaOH 溶液调至 $\text{pH}=8\sim 9$ ，在 500mL 的量筒内分别加入废水 200mL、250mL、300mL、350mL、400mL。

③ 启动废水泵，将混凝池和气浮池注满水。

④ 启动空气压缩机，待气泵内有一定压力时开启清水泵，同时向加压溶气罐内注水、进气，打开溶气罐的出水阀。

⑤ 迅速调节进水量使溶气罐内的水位保持在液位计的 $2/3$ 处，压力为 $0.3\sim 0.4\text{MPa}$ 。如进气量过大，液位不能稳定，可适当打开溶气罐的放水阀（或关闭进气阀，采取间歇进气），使液位基本保持稳定，直到释放器释放出含有大量微气泡的乳白色的溶气水。观察实验现象。

⑥ 向各水样加入混凝剂，使其浓度为 $250\sim 350\text{mg/L}$ ，并搅拌均匀。

⑦ 从溶气罐取样口向各水样中注入溶气水，使最终体积为 500mL。静置 $20\sim 30\text{min}$ ，取样测定色度。实验数据填入表 1-3。

表 1-3 加压溶气气浮实验记录表

废水体积/mL	0	200	250	300	350	400	450	备注
溶气水体积/mL								
回流比								
气浮时间/min								
色度 原水								
色度 出水								
色度去除率/%								

⑧ 根据实验数据绘制色度去除率与回流比之间的关系曲线。

六、实验结果与讨论

1. 应用已掌握的知识分析取得释气量测定结果的正确性。

2. 试述工作压力对溶气效率的影响。

3. 拟定一个测定气固比与工作压力之间关系的实验方案。

第三节 活性炭吸附实验

一、实验目的

① 了解活性炭的吸附工艺及性能；

② 掌握用实验方法（含间歇法、连续法）确定活性炭吸附处理污水的设计参数的方法。

二、实验原理

活性炭具有良好的吸附性能和稳定的化学性质，是目前国内外应用比较多的一种非极性吸附剂。与其他吸附剂相比，活性炭具有微孔发达、比表面积大的特点。通常比表面积可以达到 $500\sim 1700\text{m}^2/\text{g}$ ，这是其吸附能力强、吸附容量大的主要原因。

活性炭吸附主要为物理吸附。吸附机理是活性炭表面的分子受到不平衡的力，而使其他分子吸附于其表面上。当活性炭溶液中的吸附处于动态平衡状态时称为吸附平衡，达到平衡

时, 单位活性炭所吸附的物质的量称为平衡吸附量。在一定的吸附体系中, 平衡吸附量是吸附质浓度和温度的函数。为了确定活性炭对某种物质的吸附能力, 需进行吸附实验。当被吸附物质在溶液中的浓度和在活性炭表面的浓度均不再发生变化, 此时被吸附物质在溶液中的浓度称为平衡浓度。活性炭的吸附能力用吸附量 q 表示, 即

$$q = \frac{V(c_0 - c)}{m}$$

式中, q 为活性炭吸附量, 即单位质量的吸附剂所吸附的物质质量, g/g; V 为污水体积, L; c_0 、 c 分别为吸附前原水及吸附平衡时污水中的物质的浓度, g/L; m 为活性炭投加量, g。

在温度一定的条件下, 活性炭的吸附量 q 与吸附平衡时的浓度 c 之间关系曲线称为等温线。在水处理工艺中, 通常用的等温线有 Langmuir 和 Freundlich 等。其中 Freundlich 等温线的数学表达式为:

$$q = Kc^{\frac{1}{n}}$$

式中, K 为与吸附剂比表面积、温度和吸附质等有关的系数; n 为与温度、pH 值、吸附剂及被吸附物质的性质有关的常数; q 同前。

K 和 n 可以通过间歇式活性炭吸附实验测得。将上式取对数后变换为:

$$\lg q = \lg K + \frac{1}{n} \lg c$$

将 q 和 c 相应值绘在双对数坐标上, 所得直线斜率为 $1/n$, 截距为 K 。

由于间歇式静态吸附法处理能力低, 设备多, 故在工程中多采用活性炭进行连续吸附操作。连续流活性吸附性能可用博哈特 (Bohart) 和亚当斯 (Adams) 关系式表达, 即

$$\ln \left[\frac{c_0}{c_B} - 1 \right] = \ln \left[\exp \left(\frac{KN_0 H}{v} \right) - 1 \right] - Kc_0 t$$

因 $\exp(KN_0 H/v) \gg 1$, 所以上式等号右边括号的 1 可忽略不计, 则工作时间 t 由上式可得:

$$t = \frac{N_0}{c_0 v} \left[H - \frac{v}{KN_0} \ln \left(\frac{c_0}{c_B} - 1 \right) \right]$$

式中, t 为工作时间, h; v 为流速, 即空塔速度, m/h; H 为活性炭层高度, m; K 为速度常数, $\text{m}^3/(\text{mg}/\text{h})$ 或 $\text{L}/(\text{mg}/\text{h})$; N_0 为吸附容量, 即达到饱和时被吸附物质的吸附量, mg/L ; c_0 为入流溶质浓度, mol/m^3 或 mg/L ; c_B 为允许流出溶质浓度, mol/m^3 或 mg/L 。

在工作时间为零的时候, 能保持出流溶质浓度不超过 c_B 的炭层理论高度称为活性炭层的临界高度 H_0 。其值可根据上述方程当 $t=0$ 时进行计算, 即

$$H_0 = \frac{v}{KN_0} \ln \left(\frac{c_0}{c_B} - 1 \right)$$

在实验时, 如果取工作时间为 t , 原水样溶质浓度为 c_{01} , 用三个活性炭柱串联 (见图 1-3), 第一个柱子出水为 c_{B1} , 即为第二个活性炭柱的进水 c_{02} , 第二个活性炭柱的出水为 c_{B2} , 就是第三个活性炭柱的进水 c_{03} , 由各炭柱不同的进、出水浓度 c_0 、 c_B 便可求出流速常数 K 值及吸附容量 N 。

三、实验设备及试剂

① 间歇式活性炭吸附装置: 间歇式吸附用三角烧杯, 在烧杯内放入活性炭和水样进行

振荡。

② 连续流式活性炭吸附装置：连续式吸附采用有机玻璃柱 $D25\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ，柱内 $500 \sim 750\text{mm}$ 高烘干的活性炭，上、下两端均用单孔橡皮塞封牢，各柱下端设取样口。装置具体结构如图 1-3 所示。

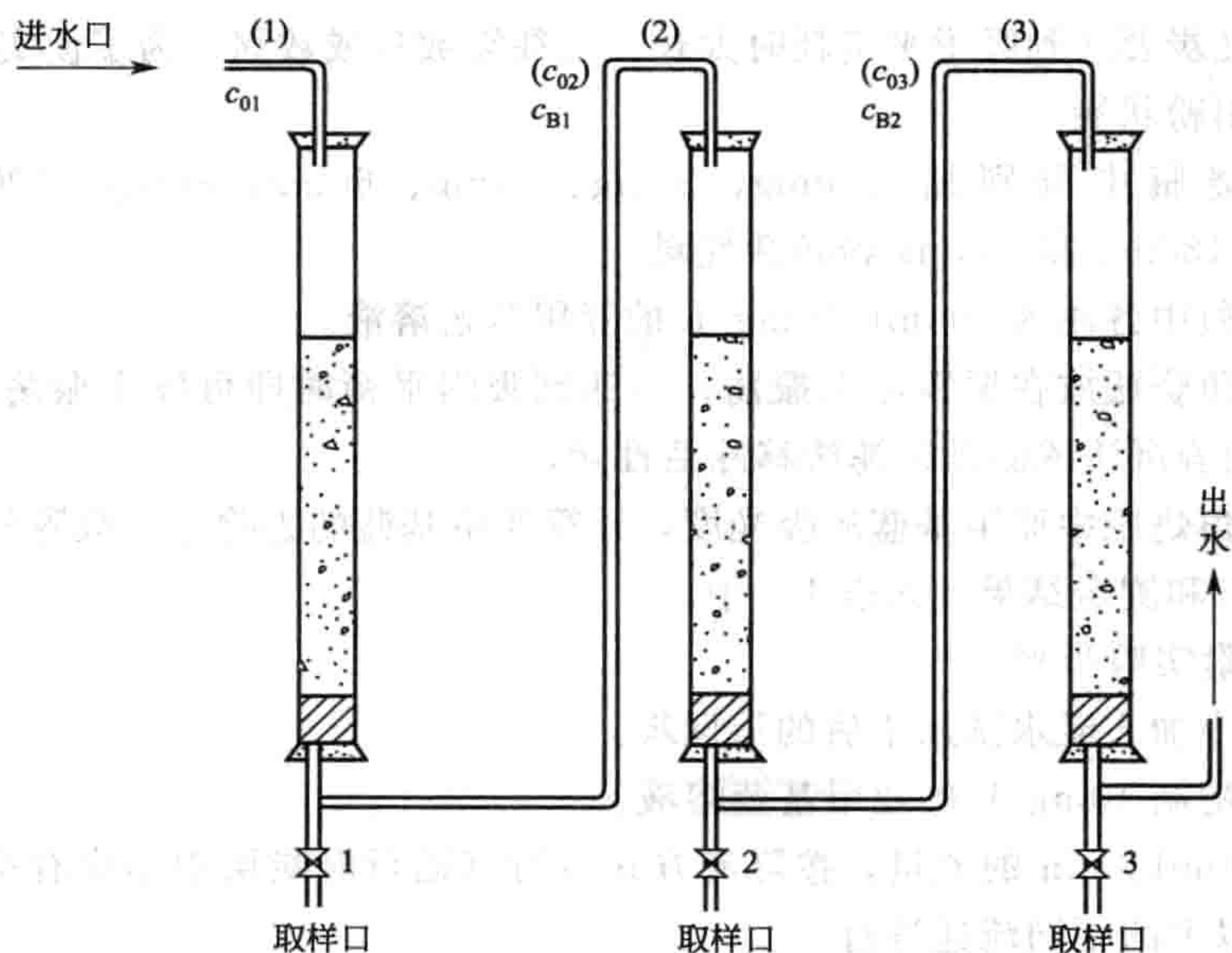


图 1-3 活性炭柱串联工作图

③ 间歇与连续流实验所需的实验器材

- a. 振荡器（一台）；
- b. 有机玻璃柱（3 根 $D25\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ）；
- c. 活性炭；
- d. 三角烧瓶（11 个， 250mL ）；
- e. 可见光光度计；
- f. 漏斗（10 个）及滤纸；
- g. 配水及投配系统；
- h. 酸度计（1 台）；
- i. 温度计（1 支）；
- j. 亚甲基蓝（分析纯）。

四、实验步骤

1. 画出标准曲线

① 配制 100mg/L 亚甲基蓝溶液。

② 用紫外可见分光光度计对样品在 $250 \sim 750\text{nm}$ 波长范围内进行全程扫描，确定最大吸收波长。一般最大吸收波长为 $662 \sim 665\text{nm}$ 。

③ 测定标准曲线（亚甲基蓝浓度 $0 \sim 4\text{mg/L}$ 时，浓度 c 与吸光度 A 成正比）。

分别移取 0mL 、 0.5mL 、 1.0mL 、 2.0mL 、 2.5mL 、 3.0mL 、 4.0mL 的 100mg/L 亚甲基蓝溶液于 100mL 容量瓶中，加水稀释至刻度，在上述最佳波长下，以蒸馏水为参比，测

定吸光度。

以浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 拟合出标准曲线方程。

2. 间歇式吸附实验步骤

① 将活性炭放在蒸馏水中浸泡 24h, 然后在 105℃ 烘箱内烘至恒重 (烘 24h), 再将烘干的活性炭研碎成能通过 200 目的筛子的粉状活性炭。

因为粒状活性炭要达到吸附平衡耗时太长, 往往需数日或数周, 为了使实验能在短时间内结束, 所以多用粉状炭。

② 在三角烧瓶中分别加入 0mg、20mg、40mg、60mg、80mg、100mg、120mg、140mg、160mg、180mg 和 200mg 粉状活性炭。

③ 在三角烧瓶中各注入 100mL 10mg/L 的亚甲基蓝溶液。

④ 将上述三角烧瓶放在振荡器上振荡, 当达到吸附平衡时即可停止振荡 (振荡时间一般为 2h), 然后用静沉法或滤纸过滤法移除活性炭。

⑤ 测定各三角烧瓶中亚甲基蓝的吸光度, 计算亚甲基蓝的去除率、吸附量。

上述原始资料和测定结果计入表 1-4 中。

3. 连续流吸附实验步骤

① 在吸附柱中加入经水洗烘干后的活性炭。

② 用蒸馏水配制 10mg/L 的亚甲基蓝溶液。

③ 以 40~200mL/min 的流量, 按降流方式运行 (运行时炭层中不应有空气气泡)。实验至少要用三种以上的不同流速进行。

④ 在每一流速运行稳定后, 每隔 10~30min 由各炭柱取样, 测定出水的亚甲基蓝的吸光度。

五、实验数据及结果整理

1. 间歇式吸附实验

表 1-4 实验原始资料和测定结果记录表

编号	进水性状		出水性状		活性炭	吸附量
	亚甲基蓝	亚甲基蓝	亚甲基蓝	亚甲基蓝	投加量	$q = \frac{V(c_0 - c)}{m}$
	吸光度	浓度/(mg/L)	吸光度	浓度/(mg/L)	/mg	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

根据记录的数据, 以 $\lg q$ 为纵坐标, $\lg c$ 为横坐标, 得出 Freundlich 吸附等温线, 该等温线截距为 $\lg K$, 斜率为 $1/n$, 或利用 q 、 c 相应数据和式 $\lg q = \lg k + \frac{1}{n} \lg c$ 经回归分析, 求出 K 、 n 值。