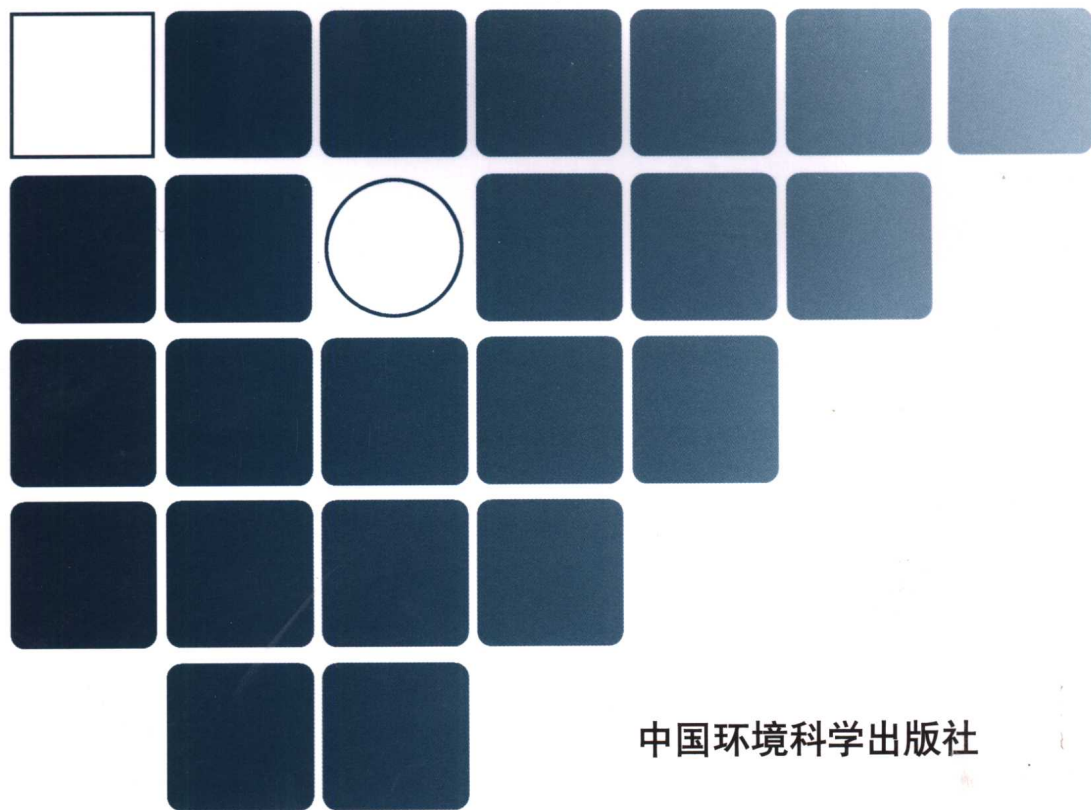


水污染控制技术实验实训指导

郭 正 张宝军 主编

教育部高等学校高职高专环保与
气象类专业教学指导委员会

推荐教材



中国环境科学出版社

高等专科学校高等职业技术学院环境类系列教材

水污染控制技术 实验实训指导

主 编 郭 正 张宝军

副主编 刘颖辉

主 审 王国祥

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

水污染控制技术实验实训指导/郭正, 张宝军主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2007. 8

(高职高专环境类系列教材)

ISBN 978-7-80209-539-7

I. 水… II. ①郭…②张… III. 水污染—污染控制—高等学校: 技术学校—教材 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 055543 号

责任编辑 黄晓燕 李卫民

责任校对 扣志红

封面设计 中通世奥

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2007 年 8 月第一版
印 次 2007 年 8 月第一次印刷
印 数 1—5 000
开 本 787×960 1/16
印 张 13 插页 2
字 数 200 千字
定 价 20.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

随着我国国民经济的快速发展,工业、农业和城市的水环境污染问题成为重大的社会问题,水环境治理工程也越来越受到社会和企业的重视,从事环境工程治理、环境保护设备的管理和操作的技术人员也越来越多。随着环境工程学科体系的逐步完善,所需要的专业知识也在不断拓宽,我们需要掌握的工程技术实例和经验也在不断增加。为了保护环境、控制水污染,加强水环境工程的实验、实训和实践是非常必要的。

《水污染控制技术实验实训指导》作为高等专科学校、高等职业技术学院环境类教材《水污染控制技术》配套的实训教材,其目标主要就是通过对环境工程中实用的水处理工程技术进行归纳,使学生能够掌握水污染控制过程中常用的实验技术;能够结合理论学习和实验针对不同水污染状况进行水污染控制工艺的课程设计;能够进行常用水污染控制设备的运行操作、水质参数监测、水污染控制设备调试和管理;能够指导学生完成水污染控制技术的毕业设计。通过本书的学习、实训和实践,使学生基本掌握水污染控制技术实践的技术方法,能够成为适应环保市场需要的第一线水处理系统操作、运营和管理的应用型工程技术人才。

本书第一章、第三章、第四章的第四节至第七节及第七章由长沙环境保护职业技术学院郭正编写,第二章由邢台职业技术学院郭有才编写,第四章的第一节至第三节由三峡电力职业学院刘玉梅编写,第五章和第六章由徐州建筑工程职业技术学院张宝军编写,长沙环境保护职业技术

学院刘颖辉全书统稿。

本书不仅可以作为高等专科学校、高等职业技术学院的环境类专业的教材，而且可以作为国家劳动和社会保障部废水处理中、高级工的职业技能培训教材。由于编者水平有限，书中难免出现缺点和错误，热诚欢迎读者批评指正。

编者

2007年8月

目 录

第一章 水污染控制技术的基本知识体系简介	1
第一节 水污染控制的基本对策	1
第二节 水的物理化学处理方法	3
第三节 水的生物处理方法	4
第二章 水处理工程实验技术	5
第一节 沉降柱中颗粒静止自由沉淀实验	5
第二节 加压溶气气浮实验	8
第三节 过滤实验	11
第四节 混凝沉淀实验	16
第五节 酸性废水过滤中和实验	21
第六节 活性炭吸附实验	24
第七节 生活污水可生化性实验	26
第八节 厌氧消化实验	30
第九节 臭氧消毒实验	35
第十节 曝气设备充氧能力的测定	37
第十一节 絮凝剂的配制与使用	42
第三章 水处理设施运行常用工艺参数的测定	50
第一节 pH 的测定——电位计法	50
第二节 悬浮固体的测定——重量法	51
第三节 化学需氧量 (COD) 的测定	53
第四节 五日生化需氧量 (BOD ₅) 的测定	57
第五节 溶解氧的测定	60
第六节 臭氧浓度的测定	64
第七节 活性污泥吸附性能的测定	65
第八节 活性污泥中微生物个体观察	67
第九节 细菌总数的测定	72

第四章 环境工程水处理主要处理设备设计计算实例	74
第一节 竖流式沉淀池的设计	74
第二节 斜管沉淀池的设计	79
第三节 气浮池的设计	82
第四节 间歇式活性污泥处理池 (SBR) 设计	86
第五节 生物接触氧化池的设计	89
第六节 生物转盘设计	92
第七节 活性炭吸附器设计	99
第五章 城市水处理设施的运行操作与调试技术	111
第一节 水处理系统工艺、设备及构筑物	111
第二节 工艺试运行	124
第三节 城市污水处理厂岗位职责	126
第四节 城市污水处理厂巡视制度	134
第五节 运行管理与操作规程	138
第六节 水处理厂 (站) 实训平台介绍	154
第六章 毕业实习、毕业设计指南	163
第一节 毕业实习和毕业设计的目的与作用	163
第二节 毕业实习和毕业设计大纲	163
第三节 毕业实习和毕业设计的主要步骤	167
第四节 毕业实习和毕业设计对指导教师及学生的要求	167
第五节 毕业实习、工程调研和毕业设计报告的编制	169
第六节 毕业实习和毕业设计的成绩评定	170
第七章 水处理工程设计实例	172
第一节 设计方案的确定	172
第二节 设计计算	176
第三节 工程预算	189
第四节 结 论	197
参考文献	199

第一章

水污染控制技术的基本知识体系简介

第一节 水污染控制的基本对策

在我国污水排放总量中，工业废水排放量约占 60%。水体中绝大多数有毒有害物质来源于工业废水，工业废水大量排放是造成水环境状况日趋恶化、水体使用功能下降的重要原因。我国江河流域普遍遭到污染，且呈发展趋势。因此，工业水污染的防治是水污染防治的首要任务。国内外工业水污染防治的经验表明，工业水污染的防治必须采取综合性对策，从宏观性控制、技术性控制以及管理性控制三个方面着手，才能取得良好的整治效果。

一、宏观性控制对策

优化产业结构与工业结构，合理进行布局。在产业规划和工业发展中，贯穿可持续发展的指导思想，调整产业结构，完成结构的优化，使之与环境保护相协调。工业结构的优化与调整应按照“物耗少、能耗少、占地少、污染少、技术密集程度高及附加值高”的原则，限制发展那些能耗大、用水多、污染大的工业，以降低单位工业产品或产值的排水量及污染物排放负荷。

二、技术性控制对策

技术性控制对策主要包括：推行清洁生产、节水减污、实行污染物排放总量控制、加强工业废水处理等。

1. 积极推行清洁生产——减少污染物的生产量

清洁生产是通过生产工艺的改进和革新、原料的改变、操作管理的强化以及污染物的循环利用等措施，将污染物尽可能地消灭在生产过程之中，使污染物排放量减到最少。在工业企业内部加强技术改造、推行清洁生产，是防治工业水污染的最重要的对策与措施。

2. 提高工业用水重复利用率——减少污水排放量

减少工业用水不仅意味着可以减少排污量，而且可以减少工业新鲜用水量。因此，发展节水型工业不仅可以节约水资源，缓解水资源短缺和经济发展的矛盾，同

时对于减少水污染和保护水环境具有十分重要的意义。

工业节约用水措施可分为三种类型：技术型、工艺型与管理型，如表 1-1 所示。这三种类型的工业节水措施可从不同层次上控制工业用水量，形成一个严密的节水体系，以达到节水同时减污的目的。

表 1-1 工业节水措施的类型

技术型工业节水	工艺型工业节水	管理型工业节水
间接冷却水的循环使用	改变高耗水型工艺	完善用水计量系统
生产工艺水的回收利用	少用水或不用水	制订和实行用水定额制度
水的串接使用	汽化冷却工艺	实行节水奖励、浪费惩罚制度
水的多种使用	空气冷却工艺	制订合理水价
采用各种节水装置	逆流清洗工艺	加强用水考核
	干法洗涤工艺	

工业用水的重复利用率是衡量工业节水程度高低的重要指标。提高工业用水的重复用水率及循环用水率是一项十分有效的节水措施。

3. 实行污染物排放总量控制制度——促进企业从源头治理

长期以来，我国工业废水的排放一直实施浓度控制的方法。这种方法对减少工业污染物的排放起到了积极的作用，但也出现了某些工厂采用清水稀释污水以降低污染物浓度的不正当做法。污染物排放总量控制是既要控制工业废水中的污染物浓度，又要控制工业废水的排放量，从而使排放到环境中的污染物总量得到控制。实施污染物排放总量控制是我国环境管理制度的重大转变，将对防治工业水污染起到积极的促进作用。

4. 实行工业废水与城市生活污水集中处理——减少进入水体的污染物

在建有城市污水集中处理设施的城市，应尽可能地将工业废水排入城市下水道，进入城市污水处理厂与生活污水合并处理。但工业废水的水质必须满足进入城市下水道的水质标准。对于不能满足标准的工业废水，应在工厂内部先进行适当的预处理，使水质满足标准后，方可排入下水道。实践表明，在城市污水处理厂集中处理工业废水与生活污水不仅能节省基建投资和运行管理费用，还能取得更好的处理效果。

三、管理性控制对策

实行环境影响评价制度和“三同时”制度。进一步完善污水排放标准和相关的水污染控制法规和条例，加大执法力度，严格限制污水的超标排放。规范各单位的污染物排放口，对各排放口和受纳水体进行在线监测，逐步建立并完善城市和工业排污监测网络和数据库，进行科学的监督和管理，杜绝“偷排”现象。

第二节 水的物理化学处理方法

根据我国水体污染特征,水体污染主要来自于城市生活污水和工业废水。因此,水污染控制的工程措施关键在于解决城市生活污水和工业废水的污染问题。针对不同污染物质的特征,发展了各种不同的废水处理方法,这些处理方法可按其作用原理划分为四大类:物理处理法、化学处理法、物理化学处理法和生物处理法。

一、物理处理法

物理处理法主要包括对污水进行筛选、混合、絮凝、沉淀、浮选以及过滤等典型的物理单元操作,以分离、回收废水中不溶解的呈悬浮状态的污染物质(包括油膜和油珠)的废水处理方法并去除各种较大的漂浮物和可沉淀固体,处理过程中不改变其化学性质。

根据物理作用的不同,物理处理法可分为重力分离法、离心分离法和筛滤截留法等。属于重力分离法的处理单元有:沉淀、上浮(气浮、浮选)等,相应使用的处理设备是沉砂池、沉淀池、隔油池、气浮池及其附属装置等。离心分离法本身就是一种处理单元,使用的处理装置有离心分离机和水旋分离器等。筛滤截留法包括截留和过滤两种处理单元,前者使用的处理设备是格栅、筛网,而后者使用砂滤池和微孔滤池等。

二、化学处理法

化学处理法是通过投加化学药剂或利用其他化学反应分离,去除废水中呈溶解、胶体状态的污染物质或将其转化为无害物质的废水处理方法。常用的化学处理法有混凝沉淀、电解、气体传递、吸附、中和、氧化还原、离子交换、消毒等。

在化学处理法中,以投加药剂产生化学反应为基础的处理单元是:混凝、中和、氧化还原等;而以传质作用为基础的处理单元则有:萃取、气提、吹脱、吸附、离子交换以及电渗析和反渗透等。后两种处理单元又统称为膜处理技术。其中运用传质作用的处理单元具有化学作用,同时又有与之相关的物理作用,所以也可以从化学处理法中分离出来,成为另一种处理方法,称为物理化学法,即运用物理和化学的综合作用使污水得到净化的方法。

三、物理化学法

物理化学法是利用物理化学作用去除废水中的污染物质的方法。物理化学法主要有吸附法、离子交换法、膜分离法、萃取法、气提法和吹脱法等。

第三节 水的生物处理方法

生物处理法主要是利用微生物的生命活动来去除污水中可生物降解的胶体态和溶解态的有机物质，使有机污染物质转化为稳定、无害的物质的处理方法。该方法使有机物质基本上被转化为可逸散到空气中的各种气体及通过沉降可以去除的细胞组织。生物法分为好氧分解和厌氧分解生物处理两大类。其中好氧分解主要有活性污泥法和生物膜法，而厌氧分解则采用厌氧消化法。

第二章

水处理工程实验技术

第一节 沉降柱中颗粒静止自由沉淀实验

一、实验目的

- (1) 熟练掌握中端取样法的实验原理及实验步骤;
- (2) 加深理解沉淀的基本概念和污水中杂质的沉淀性能;
- (3) 进一步了解和掌握自由沉淀规律, 根据试验结果绘制时间-沉淀率 ($t-E$)、沉速-沉淀率 ($u-E$) 和 c/c_0-u 的关系曲线;
- (4) 为沉淀池的设计提供设计参数。

二、实验原理

沉淀是指从液体中借重力作用去除固体颗粒的一种过程。根据液体中固体物质的浓度和性质, 可将沉淀过程分为自由沉淀、絮凝沉淀、成层沉淀和压缩沉淀四类。本实验研究探讨的是污水中非絮凝性固体颗粒自由沉淀的规律, 采用中端取样法确定沉降性能曲线。实验在有机玻璃管中进行, 如图 2-1 所示。

在一水深为 H 的沉降柱内进行自由沉淀实验, 取样位置设在有效水深为 H 的沉降柱中端 $H/2$ 处。

若原水中悬浮物浓度为 c_0 , 经 t 时间沉降后水样残留浓度 c_i , 则沉降效率 E_i 为:

$$E_i = \frac{c_0 - c_i}{c_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{c_i}{c_0}\right) \times 100\% \quad (2-1)$$

沉降速度为 $u_i = H/t_i$ 。

按某一特定沉降速度 u_0 设计的沉淀池中, 按式 (2-1) 计算所得的沉降效率只包括从水面到水深 H 处的水层中沉速 $u \geq u_0$ 的全部颗粒, 而对 $u < u_0$ 的颗粒则没能计入。为清除计算误差, 悬浮物总去除效率采用下式计算:

$$E_{\text{总}} = (1 - P_0) + \int_0^{P_0} \frac{u}{u_0} dP \quad (2-2)$$

式中, P_0 表示沉速 $u < u_0$ 的水中残留悬浮物浓度与全部原水悬浮物浓度比。

若采用图解法求解总去除率, 则可在沉速 $u < u_0$ 的颗粒物分率 P 随沉速 u_0 变化的沉降曲线 (图 2-2) 上进行图解积分。则有:

$$E_{\text{总}} = (1 - P_0) + \frac{1}{u_0} \sum u \cdot dP \quad (2-3)$$

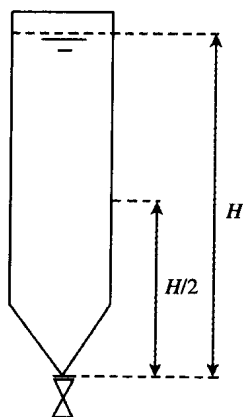


图 2-1 中端取样法实验原理

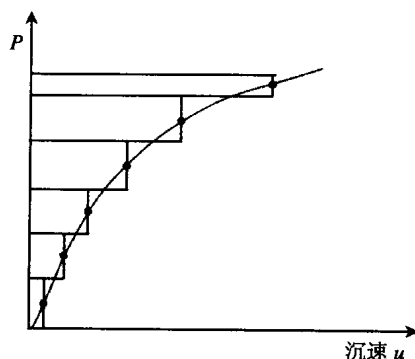


图 2-2 沉降性能曲线

注: 图 2-2 中的纵坐标 P 表示水中残余悬浮物浓度与原水悬浮物浓度之比。

三、实验仪器及试剂

- (1) 有机玻璃管沉降柱、储水箱、水泵和搅拌装置 (实验沉淀柱自溢流孔开始自上向下标刻度)。
- (2) 秒表, 皮尺。
- (3) 测定悬浮物的设备: 分析天平、称量瓶、烘箱、滤纸、漏斗、漏斗架、量筒、烧杯等。
- (4) 污水水样, 采用高岭土配置。

四、实验步骤

(一) 实验前准备工作

- (1) 将定量滤纸编号后, 与表面皿一道 (一张滤纸用一个表面皿) 放入烘箱,

在 103~105℃下, 烘至恒重后称量其重量 W_1 , 计入表 2-1 中。

(2) 检查沉淀柱、进水泵、原水箱的管线连接, 无误后, 以清水注入原水箱, 并开动水泵将沉降柱、原水箱以及相应连接管道冲洗干净, 排干积水后, 关闭所有阀门。

(二) 实验步骤

(1) 将废水倒入溶液调配水箱, 搅拌 5 min 使废水悬浮物分布均匀。取原水 100 mL 过滤、烘干, 用重量法测出悬浮物浓度即 c_0 。

(2) 开启沉降柱进水阀门, 用标尺计量水位到所需高度后, 关闭进水阀门, 同时按下秒表开始计时。

(3) 经过 5 min、10 min、15 min、20 min、30 min、…、60 min 分别在中端取样, 每取样一次, 注意取样前记录沉降柱中水面高度 H_t , 并记入表 2-1 中。每次取样时先排出取样管中积水, 再取样 100 mL。

所得水样按先后顺序, 分别用预先准备好的定量滤纸过滤, 过滤后的滤纸连同相应表面皿一道送入烘箱中, 在 103~105℃下烘干 1 h 后, 然后放入干燥器内冷却并称量得 m_2 , 记入表 2-1 中。

此时, 水中残余悬浮物浓度 (mg/L) 为:

$$c = \frac{(m_1 - m_2) \times 1000 \times 1000}{V} \quad (2-4)$$

式中: m_1 ——过滤前滤纸质量, g;

m_2 ——过滤后滤纸质量, g;

V ——过滤水样毫升数, mL, 一般为 100 mL。

(4) 列表计算各沉降时间下沉降速度 u 和水中残留悬浮物浓度与原水悬浮物浓度之比值 $P_0 (c/c_0)$, 记入表 2-2, 并绘制沉降性能曲线及 u 与 P 的关系曲线。

(5) 利用图解积分法计算不同沉降速度时的总去除效率 E_{Σ} 与沉降时间 t 及总去除效率与沉降速度 u 的关系曲线。

五、注意事项

(1) 进水前须将原水搅拌均匀;

(2) 取样时, 须先排出取样管中的积水, 再取样;

(3) 开启取样阀门时, 不宜开启度过大, 只要能在短时间里把沉泥排出即可;

(4) 若原水样悬浮物浓度较低, 可把取样间隔时间拉长。

六、实验结果整理

实验日期：____年____月____日

原水悬浮物干重____g，取样体积____mL

表 2-1 自由沉淀实验记录

取样序号	取样时间/min	取样体积/mL	沉降柱高度 H/mm	过滤前滤纸质量 m_1/g	过滤后滤纸质量 m_2/g

表 2-2 自由沉淀实验记录

取样 序号	平均沉 降高度 $\bar{H}/\text{mm}$	沉降速度 ($u = \frac{\bar{H}}{t}$) / (mm/min)	水中残余悬浮 物浓度 c / (mg/mL)	水中残留悬浮物浓度 与原水悬浮物浓度比 $P=c/c_0$	沉降效 率 E_i / %	沉降总 效率 $E_{\text{总}}$ / %

七、实验结果讨论

- (1) 讨论绘制自由沉淀曲线的方法及意义。
- (2) 进行实验误差分析。
- (3) 根据实验结果确定 $u_0=2.8 \text{ m/min}$ 时，悬浮物的总去除效率。
- (4) 自由沉淀中颗粒沉速与絮凝沉淀中颗粒沉速有什么区别？

第二节 加压溶气气浮实验

一、实验目的

- (1) 通过实验掌握气浮的原理，加深对气浮原理的理解。
- (2) 了解悬浮物浓度、操作压力、气固比、澄清分离效率之间的关系。
- (3) 通过实验模型的运行，掌握加压溶气气浮实验方法和加压溶气气浮装置的

工艺流程。

二、实验原理

气浮是固液分离或液液分离的一种技术。它是指人为采取某种方式产生大量的微小气泡，使气泡与水中一些杂质物质微粒相吸附形成相对密度比水轻的气浮体，气浮体在水浮力的作用下，上浮到水面而形成浮渣，进而达到杂质与水分离的目的。

气浮常被用来分离相对密度小于或接近于 1 且难以用重力自然沉降法去除的悬浮颗粒，其处理废水的实质是：气泡和粒子间进行物理吸附，并形成絮粒上浮分离。

加压溶气气浮是先将空气加压，使其溶于水，形成空气过饱和溶液，然后减至常压使溶气析出，并以微细气泡形式释放出来，从而使水杂质颗粒被黏附而上浮。

本实验采用在溶气罐中进行加压溶气，而溶气则在气浮池中常压析出。

三、实验装置、仪器及试剂

(一) 实验装置

本实验由气浮池、溶气罐、空压机、加压泵、搅拌器、转子流量计、止回阀、水箱等组成，见图 2-3。

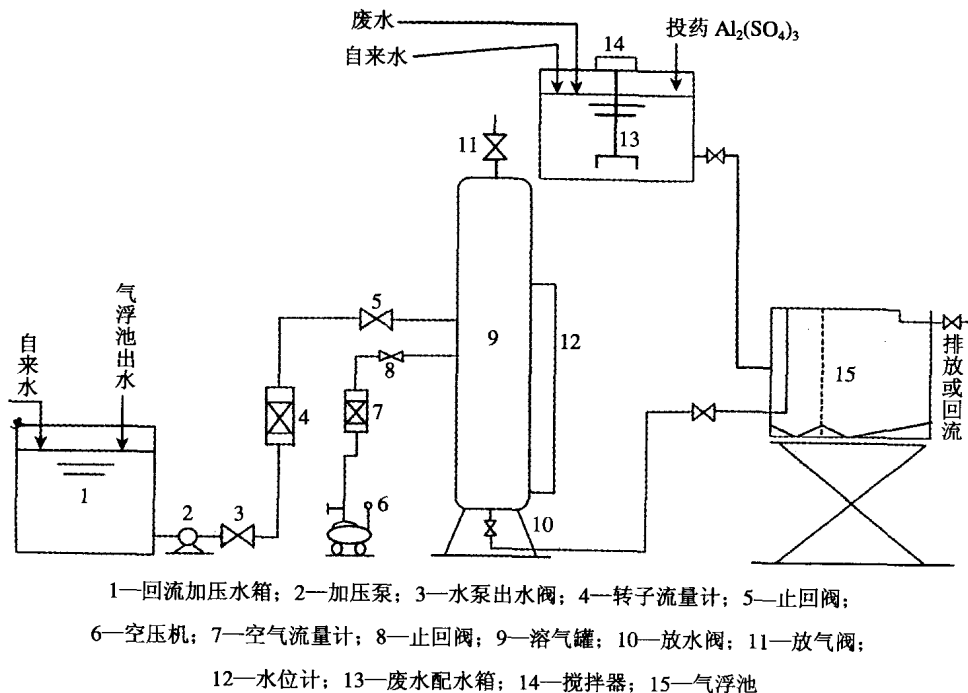


图 2-3 加压溶气气浮实验装置

(二) 实验仪器及试剂

(1) 硫酸铝	适量
(2) 废水(演示实验可用清水代替)	
(3) 烘箱	1 台
(4) 分析天平	1 台
(5) 100 mL 量筒	10 个
(6) 200 mL 三角烧杯	10 个
(7) 200 mL 称量瓶	10 个
(8) 抽滤装置	1 套
(9) 秒表	1 套
(10) 温度计	1 块

四、实验步骤

- (1) 首先检查气浮实验装置是否完好。
- (2) 把自来水加到回流加压水箱与气浮池中至有效水深的 90% 高度。
- (3) 将含乳化油或其他悬浮物的废水加到废水配水箱中, 并投入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 等混凝剂后搅拌混合, 投加 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的质量浓度为 50~60 mg/L。
- (4) 先开启空压机加压, 必须加压至溶气罐内压力为 0.3 MPa 左右。
- (5) 开启加压水泵, 此时压水量按 2~4 L/min 控制。
- (6) 待溶气罐中的水位升至液位计中间高度, 缓慢地打开溶气罐底部闸阀, 其流量与加压水量相同, 为 2~4 L/min。
- (7) 待空气在气浮池中释放并形成大量的微小气泡时, 再打开原废水配水箱, 废水进水量可按 4~6 L/min 控制。
- (8) 开启空压机加压至 0.3 MPa 并开启加压水泵后, 其空气流量可先按 0.1~0.2 L/min 控制, 考虑到加压溶气罐及管道中难以避免的漏气, 其空气量按水面在溶气罐内的液位中间部位控制即可。多余的空气可以通过其顶部的排气阀排除。
- (9) 出水可排至下水管道, 也可回流至回流加压水箱。
- (10) 以重量法测定原废水与处理水的水质变化, 以悬浮物质量浓度表示(每个样品取 100 mL 做两个平行样), 结果记入表 2-3 中。
- (11) 然后可多次改变进废水量、空气在溶气罐内压力、加压水量等, 来测定和分析原废水与处理水的水质, 结果记入表 2-3 中。

五、注意事项

- (1) 为了不弄脏气浮池与原水配水箱, 也可做演示实验, 采用清水或浓度不大